

T-63

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA



**MANUAL DE DISEÑO Y OPERACION DEL
RELLENO SANITARIO POR EL METODO
DE AREA.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A

LUIS JAVIER GRACIA RIESTRA

México, D. F.

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AGRICOLA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-70

Al Pasante señor LUIS JAVIER GRACIA RIESTRA,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor M. I. Ernesto Murguía Vaca, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"MANUAL DE DISEÑO Y OPERACION DEL RELLENO SANITARIO POR EL METODO DE AREA"

- I. Introducción
- II. Antecedentes
- III. Manual de diseño del relleno sanitario por el método de área
- IV. Manual de operación
- V. Conclusiones y recomendaciones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A tentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 3 de abril de 1979
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

28.5
JJE/OP/LH/ser

MANUAL DE DISEÑO Y OPERACION DEL RELLENO SANITARIO POR EL MÉTODO DE AREA

I N D I C E

I. INTRODUCCION

II. ANTECEDENTES

- 1.- Fuentes de Generación de Desechos Sólidos.
- 2.- Historia del Relleno Sanitario en México.
- 3.- Situación Actual de la Disposición Final en México.

III. MANUAL DE DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO POR EL METODO DE AREA.

- 1.- Descripción de los métodos de Relleno Sanitario.
 - 1.1.- Método de Trinchera.
 - 1.2.- Método de Area.
 - 1.3.- Método Combinado.
- 2.- Selección del Sitio.
 - 2.1.- Localización y Condiciones Físicas.
 - 2.2.- Requerimientos para el uso del sitio.
 - 2.3.- Trabajos de Ingeniería Civil.

3.- Investigación del Sitio.

3.1.- Estudio Geohidrológico del Sitio.

3.2.- Climatología.

4.- Preparación del Sitio.

4.1.- Desmonte.

4.2.- Bardeado.

4.3.- Caminos de Acceso.

4.4.- Básculas.

4.5.- Oficinas y Almacenes.

4.6.- Monitoreo.

5.- Drenajes.

5.1.- Diseño de los drenajes exteriores.

5.2.- Diseño de los drenajes interiores.

5.3.- Drenaje del sitio terminado.

5.4.- Drenaje del lixiviado

6.- Protección del Agua Subterránea.

6.1.- Métodos Naturales.

6.2.- Métodos Artificiales.

**7.- Diseño de la Interfase Relleno Sanitario-Nivel de Aguas
Freáticas.**

7.1.- Cálculo de la Interfase.

7.2.- Cálculo de la Absorción de los Desechos.

7.3.- Cálculo y Características del Lixiviado.

8.- Control de Gases.

8.1.- Tipo de Gases.

8.2.- Métodos de Control.

8.3.- Aprovechamiento.

9.- Vida Util.

9.1.- Volumen de Desechos.

9.2.- Volúmenes de Corte y Relleno.

9.3.- Cálculo de la Vida Util.

10.- Uso Final del Sitio.

IV. MANUAL DE OPERACION

1.- Introducción

2.- Métodos Operativos que se Preveen.

3.- Requerimientos de tierra, equipo y personal para la ejecución de un Relleno Sanitario que satisfaga las necesidades actuales y futuras de un sitio.

4.- Aspectos económicos del Relleno Sanitario.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Conclusiones.

2.- Recomendaciones.

I. INTRODUCCION

El hombre desde su creación ha generado desechos sólidos, los cuales han sido dispuestos de un sinnúmero de formas; cuando nómadas, el tirarlos al lado del sitio de la comida era suficiente. A medida que se fueron estableciendo las primeras civilizaciones el problema de la disposición de los desechos se fue agravando, y la solución fue el llevarlos a las orillas de la comunidad. Sin embargo al crecer estos núcleos poblacionales, el alejarlos no fue suficiente y se iniciaron los enterramientos de los desechos.

El dato más antiguo sobre el enterramiento de desechos sólidos es el que aparece en la Biblia, (DEUTERONOMIO 23, VV 12-13), donde fue especificado por Moisés que el enterramiento de los desechos era una práctica requerida para los pobladores de Israel. También, durante el florecimiento de la civilización Minoica en Creta en los años de 3000 a 1000 A.C., los desechos generados en la ciudad capital eran depositados en largas zanjias donde eran colocados en capas y luego cubiertos con tierra en intervalos.

Sin embargo el enterramiento de los desechos no era práctica común en todas las civilizaciones, ya que los Romanos no tenían un sistema organizado de recolección y disposición, de tal manera que los desechos se acumulaban en las calles y en los alrededores de los poblados.

Al conquistar los Romanos gran parte de Europa, la desorganización en la disposición fue esparcida por el continente, - aumentando así los tiraderos a cielo abierto y con esto la proliferación de la fauna nociva.

Existe un lapso de falta de información hasta llegar a la época mediceval, donde la práctica de enterrar los desechos tuvo un nuevo auge, al tomarla como medida sanitaria contra la proliferación de las plagas y pestes que diezmaron la humanidad en aquellos ancestros años.

Fue hasta la época de la Primera Guerra Mundial cuando el término relleno sanitario es usado por el Cuerpo de Ingeniería de la Armada de los Estados Unidos de Norte América, para llamar así al enterramiento de los desechos sólidos en las bases militares establecidas en el viejo mundo.

A fines del siglo XIX y en lo que ha transcurrido del siglo XX se avanza en el desarrollo de nuevas técnicas de disposición de los desechos y así, los sistemas de incineración, composteo, compactación, hidrólisis, pirólisis y recuperación en algunas partes del mundo, han desplazado al relleno sanitario; esta técnica sin embargo al través de los años ha seguido una fase de perfeccionamiento tanto en su diseño como en la operación del mismo, haciéndolo así un método de disposición de los desechos sólidos, económico, seguro

y sanitario.

Este trabajo versa sobre el método de área utilizado en la disposición de los desechos sólidos, por medio de relleno sanitario, dando los procedimientos que se deben seguir en el proceso de diseño y operación del mismo.

II ANTECEDENTES

1. FUENTES DE GENERACION DE DESECHOS SOLIDOS

La gran diversidad de actividades que se desarrollan en el país, dan como resultado la generación de una amplia variedad de desechos sólidos, los cuales encuadran en dos grandes ramas: Los Desechos Municipales y los Desechos Especiales.

En la tabla No. II-1 se presentan la clasificación de los Desechos Sólidos por rama, clase, fuente y tipo de Desechos.

La importancia de este tipo de información en su aplicación al método de operación a seguir en un relleno sanitario. Por ejemplo: Los desechos industriales peligrosos deberán disponerse de diferentes maneras que los desechos domiciliarios. También esta información nos auxiliará en la optimización del sistema de re colección y disposición final de los desechos sólidos.

2. HISTORIA DEL RELLENO SANITARIO EN MEXICO

No obstante que la técnica de diseño y operación de rellenos sanitarios era conocida en México por los años de 1935, el primer relleno sanitario diseñado y operado en el país, fue el que se desarrolló en la ciudad de Aguascalientes, Ags., por la Comisión

Constructora e Ingeniería Sanitaria de la Secretaría de Salubridad y Asistencia en el año de 1966. Este relleno operó durante un lapso de ocho años, hasta que en 1974 las operaciones cesaron, para luego convertirse en un tiradero a cielo abierto.

A partir del año 66, se iniciaron las operaciones de una serie de rellenos sanitarios diseñados por técnicos de las oficinas centrales de la dependencia mencionada.

A continuación se mencionan las ciudades más importantes donde se realizaron rellenos sanitarios, anotando entre paréntesis el año en que se iniciaron y terminaron las operaciones.

El segundo relleno fue el que se elaboró en Acapulco, - Guerrero (1967-1971), para luego continuar con la Paz, Baja California Sur., (1967-1971), Gómez Palacio, Durango (1968,1968), Cd. Netzahualcoyotl, Edo. de México (1968-1972), Oaxaca, Oaxaca (1969-1971), Querétaro, Querétaro (1975-1976), San Cristobal de las Casas, Chiapas (1976-1977), Irapuato, Salamanca y Celaya, Guanajuato (1976-1977): Ultimamente han seguido otra serie de diseños y operaciones en varias ciudades del país.

3. SITUACION ACTUAL DE LA DISPOSICION FINAL EN MEXICO.

Tomando en cuenta que la generación diaria de desechos sólidos en México es 500 gramos por persona, esto nos lleva a la -

cifra aproximada de 35,000 toneladas diarias generadas, de las cuales solamente 26,250 son recolectadas y de ellas el 10% son dispuestas de una manera sanitaria, ya sea en plantas industrializadoras o en rellenos sanitarios podemos deducir que la situación actual no es muy halagadora en este momento.

El problema de la falta de disposición adecuada se circunscribe a tres problemas fundamentales:

- a) Tradición
- b) Falsa Economía
- c) Educación y Adiestramiento, los cuales se describen a continuación.

- a) Tradición.

Sin duda se tiene una tradición en todas las autoridades de "disponer" los desechos sólidos, en los alrededores de las ciudades en los clásicos tiraderos a cielo abierto, mediante este sistema sin duda se agrede al suelo de tal forma que lo imposibilita para usarlo para cualquier otro fin, al depositarlos sobre el en forma incontrolada. Al estar estos desechos expuestos a la lluvia, ésta se percola por el estrato de desechos, formando lixivia do que al infiltrarse en el suelo potencialmente pueden contaminar los mantos freáticos, posibles fuentes de abastecimiento de agua potable; también en el transcurso de la lluvia, estos desechos son

susceptibles de ser arrastrados y llevados a cursos de agua, los que resultan contaminados, disminuyendo su uso como agua fácil de ser tratada para abastecimiento de agua de consumo humano.

Por lo regular los tiraderos a cielo abierto también - propician la contaminación del aire ya que es común la presencia de incendios, algunas veces intencionales, otras por combustión espontánea, debido a las temperaturas que alcanzan la masa de desechos al degradarse biológicamente. Al quemarse estos desechos emiten partículas parcialmente quemadas a la atmósfera contaminándola, además de los olores desagradables que se desprenden de la incineración de los desechos en forma incontrolada.

b) Falsa Economía

La falsa economía al utilizar el tiradero a cielo abierto como "método de disposición" realmente es una farsa; se está de acuerdo con el hecho de que no se tienen costos directos en el proceso, pero lo importante son los tremendos costos indirectos que intervienen, estos costos son los de una necesidad de mayor mantenimiento preventivo y correctivo, la falta de control sobre el personal, hace que este pierda mucho tiempo en las maniobras de descarga lo cual redundará a los costos de operación del sistema de recolección y finalmente lo más importante es la posibilidad de contaminar una fuente de abastecimiento de agua potable,

la cual aumentaría los costos en una forma considerable al tener que ampliar el tratamiento de esta fuente ó cambiar de la fuente de abastecimiento.

c) Educación y Adiestramiento

Ahora, definitivamente existe a nivel nacional una falta de educación y adiestramiento en el campo de los desechos sólidos, esto lleva a la terrible realidad de que en la mayoría de los casos, las personas encargadas de los sistemas de limpieza urbana, solamente cuentan con las ganas de realizar bién las cosas, y en algunas ocasiones tienen cierta experiencia que les ayuda a realizar bién su trabajo. Pero no hay que olvidar que eso ayuda, pero de ningún modo soluciona el problema

También cabe mencionar aquí, que solamente tres Universidades del país tienen dentro de sus planes de estudio la cátedra de desechos sólidos a nivel de postgrado y solo una a nivel de licenciatura.

Esto sin duda limita a los futuros profesionistas el conocimiento de este campo tan importante como factor de la preservación de la buena salud pública.

Debido a los tres factores antes mencionados se despren-

de el porqué de que solo 2,625 toneladas diarias de desechos son dispuestas de una forma sanitaria, en las tres plantas industrializadoras de desechos ubicadas en Monterrey, N.L., Guadalajara, Jalisco y México, D.F., y algunos rellenos sanitarios ubicados en Aguascalientes, Aguascalientes, Garza García, N.L., y otras ciudades del país.

Por lo tanto se puede deducir que actualmente la gran mayoría de los desechos sólidos urbanos son dispuestos en una manera que no cumple con los mínimos requisitos sanitarios.

TABLA. NO. II.1. CLASIFICACION DE LOS DESECHOS SOLIDOS POR RAMA, CLASE, FUENTE Y TIPO DE DESECHOS.

RAMA	CLASE	FUENTE	TIPO DE DESECHO
MUNICIPALES	Domiciliario	Habitaciones Unifamiliares y Multifamiliares.	Materia Orgánica, papeles, cartón, plástico, trapo, hule, vidrio, Materiales Ferrosos y no ferrosos, tierra, cenizas.
	Mercados	Mercados y Automercados	Materia Orgánica, papel, cartón, plástico
	Parque y Jardines.	Parques públicos, jardines, - zoológicos, lugares de reunión	Hojas, ramas, zacate, papeles - plástico, vidrio, cartón, estiercol, Materia Orgánica.
	Comercial	Hoteles, restaurantes, comercios, moteles, bares, oficinas	Materia orgánica, papel, cartón vidrio, metales ferrosos.
	Institucional	Universidades, Escuelas, Iglesias, Conventos, Edificios - públicos, etc.	Papel, cartón, materia orgánica, plástico, vidrio.
	Construcción y Demolición	Construcción o demolición de edificios y casa habitación.	Pedacera de concreto, tabique, fierro.
	Barrido Manual y Mecánico	Barrido de calles, aceras, - avenidas.	Animales muertos, tierra, papeles, y materia orgánica.
ESPECIALES	Agrícolas	Ranchos, Rastros, Establos - Plantíos, Invernaderos	Estiercol, Materia Orgánica, - huesos, ramas, árboles, plástico.
	Industriales	Industrias en General.	Una gama de desechos peligrosos, tóxicos e inflamables.
	Hospitalarios	Hospitales, Clínicas, Sanatorios	Plástico, vidrio, partes humanas, placentas, material de curación metales, cartón, trapo, medicinas, etc.
	Radiactivos	Plantas Nucleares, Centros de Investigación Nuclear	Desechos Radiactivos.
	Lodos, Plantas de Tratamiento	Plantas de tratamiento de agua potable y aguas residuales.	Lodos Orgánicos e Inorgánicos.

III **MANUAL DE DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO POR EL METODO
DE AREA.**

1. **DESCRIPCION DE LOS METODOS DE RELLENO SANITA-
RIOS.**

El relleno sanitario es definido como el método de ing
niería para la disposición de los desechos, colocándolos en el -
suelo y esparciéndolos en capas, compactándolos y cubriéndolos
con tierra al final del día de operación o tan frecuente como sea
necesario, de tal manera que los desechos no sean un peligro de -
contaminación al ambiente.

En la etapa del diseño de un relleno sanitario después
de tener los datos preliminares del sitio elegido y las caracterís
ticas de la zona, se puede optar por los dos métodos de diseño exis
tente; trinchera y el de área o utilizar una combinación de ambos.

El método seleccionado será dependiente de las caracte-
rísticas físico-químicas de suelo del sitio elegido y de la canti-
dad y características de los desechos a ser dispuestos. A continua
ción se describen los métodos utilizados para disponer desechos -
mediante un relleno sanitario;

1.1. METODO DE TRINCHERA

Este método es utilizado normalmente en los lugares - donde el nivel de aguas freáticas no es tan alto, las pendientes del sitio son suaves y las características del suelo son tales, que puedan ser excavado utilizando equipos normales de movimiento de tierra.

Por este sistema la operación consiste en depositar - los desechos en la base de una trinchera, donde son esparcidos y compactados en capas hasta formar una celda, para después ser cubierta con el material excavado de la trinchera esparciéndolo y compactándolo sobre la celda de desechos ya elaborada. Ver fig.

NO. III-1

Los suelos que tengan características cohesivas, tales como sedimentos de arcilla, son recomendables para la construcción de trincheras debido a que las paredes de las mismas podrían ser casi verticales y así, las trincheras pueden ser construidas en espacios reducidos y pueden estar muy cerca una de otra.

Las trincheras deben de estar alineadas perpendicularmente al viento dominante, de tal manera que reduzcan las cantidades de desechos susceptibles de ser arrastrados por este, y un extremo de la trinchera debe de estar ligeramente inclinada para favorecer el drenaje del lixiviado generado.

La trinchera puede ser tan profunda como la tierra y sus condiciones lo permitan, y al menos deberá de ser dos veces más ancha del ancho máximo del equipo utilizado.

El equipo mínimo necesario para la operación del relleno por trinchera depende de la magnitud de la operación y del procedimiento usado, dependiendo éste, de las condiciones específicas de cada sitio.

En el proceso de excavación las retroexcavadoras y las dragalinas son ampliamente utilizadas sobre los tractores de orugas, sin embargo cuando se trata de la operación de esparcir, compactar y cubrir, los bulldozers montados en orugas son usados para tal fin, además de los tractores especiales para relleno sanitario los cuales son excelentes para esparcir, compactar y cubrir los desechos sólidos.

1.2

METODO DE AREA

Este método prácticamente se puede utilizar en cualquier área de terreno disponible, de tal modo que se puede llevar a cabo en canteras abandonadas, cañadas, terrenos planos, depresiones o ciénegas; un punto importante que no se debe olvidar en este método, es que la distancia de transporte del material de cubierta no sea muy grande, de tal manera que la operación sea económica.

El procedimiento es similar al utilizado en el método de zanja el cual consiste en depositar los desechos en la base del relleno sanitario, luego se esparcen y se compactan de manera que se forme una celda para después cubrirlos con tierra, De esta forma se inicia la construcción de celdas en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo, siguiendo un plan de operación predeterminado. Ver. fig.No. III-2

Para que cumpla con la condición de ser relleno sanitario, al finalizar el trabajo diario se debe cubrir las celdas terminadas y así evitar molestias sanitarias y eliminar el problema que puede causar la expansión de los desechos ya compactados.

Muchas de las veces, el paso de los vehículos de recolección sobre el relleno sanitario cuando estos van a depositar los desechos ayudan grandemente a la consolidación del relleno.

El equipo comunmente usado para la operación del relleno sanitario por el método de área, son los tractores sobre orugas para el extendido y compactado de los desechos, la motoescrepa para transportar y depositar material de cubierta sobre las celdas terminadas y las motoniveladoras para darle la pendiente final al sitio donde se lleva a cabo el relleno sanitario.

1.3 METODO COMBINADO

En algunos casos especiales cuando las condiciones geohidrológicas del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son propicias, se puede llevar a cabo el relleno usando una combinación de los dos métodos antes descritos.

Existen combinaciones las cuales son muy usadas cuando las condiciones locales lo permitan. Uno es el de iniciar por el método de zanja y posteriormente cuando el área a sido completada, se continúa con el método de área en la parte superior. El otro es el conocido como de rampa y consiste en iniciar con un método de área y excavando el material para la cubierta en donde termina la celda ya construída. Ver fig. No. III-3

Este método combinado es considerado más eficiente, que los dos métodos anteriores, solo con la salvedad de que se necesitan condiciones particulares del sitio donde se va a llevar a cabo.

Ya que debe ser un terreno en el cual no se puede realizar ninguno de los dos métodos anteriores por separado y en cambio si es posible la combinación de ambos.

Usando este método se ahorra el transporte de material de cubierta y una parte de los desechos son depositados debajo de la superficie original, lo cual aumenta la vida útil del sitio.

2 SELECCION DEL SITIO

La selección del sitio para un relleno sanitario requiere además de las técnicas de la Ingeniería, tomar en cuenta los aspectos económicos, sociales y políticos de los planes locales de expansión propuestos en los planes reguladores estatales de uso del suelo. Así cuando se tienen varios sitios para escoger - profesionales de los campos mencionados deben participar para lograr la mejor elección.

Así que es recomendable que al llevar a cabo la investigación para la localización de sitios para relleno sanitario, se debe elaborar una lista de sitios potenciales a utilizar. Esta lista debe ser puesta a consideración de las autoridades encargadas de la planeación del municipio en cuestión, para que den el visto bueno sobre la disponibilidad y las condiciones generales de los sitios y darle también la oportunidad de que ellos sugieran cualquier otro sitio que pueda proporcionar a la comunidad su mejor desarrollo y bienestar a la vez que entre dentro de los planes ya establecidos del uso del suelo.

Probablemente uno de los aspectos que jamás se toman en cuenta en la selección del sitio para relleno sanitario es la opinión de la comunidad,, por ejemplo la oportunidad en las primeras fases del proceso de selección, de participar, comentar u objetar

la propuesta a la población, y lo más importante es tener la seguridad de contar en un momento dado el soporte de la población en las operaciones del relleno cuando este fue aprobado por ellos.

A continuación se lista una serie de factores que deben considerarse en la evaluación de un sitio a utilizarse como relleno sanitario.

2.1. LOCALIZACION Y CONDICIONES FISICAS

- 2.1.1. Area Disponible para las Operaciones.
- 2.1.2. Restricciones en la Zona.
- 2.1.3. Distancia a las Zonas de Recolección.
- 2.1.4. Accesibilidad a la Zona.
- 2.1.5. Propiedad Adyacente a la zona.
- 2.1.6. Uso actual del suelo en la zona.
- 2.1.7. Disponibilidad de servicios.
- 2.1.8. Características Geológicas del Suelo.
- 2.1.9. Disponibilidad de Material de Cubierta.

- 2.1.10. Presencia de agua superficial en la zona.
- 2.1.11. Posibilidad de inundación de la zona.
- 2.1.12. Ubicación del nivel de aguas freáticas.
- 2.1.13. Proximidad de abastecimientos de agua potable.
- 2.1.14. Dirección de los Vientos Dominantes.
- 2.1.15. Distancia a el área urbana.

2.2 REQUERIMIENTOS PARA EL USO DEL SITIO

- 2.2.1. Planificación local del uso del suelo.
- 2.2.2. Condiciones de desarrollo de la zona.
- 2.2.3. Posibilidad de compra, renta o préstamo.
- 2.2.4. Uso final proyectado.
- 2.2.5. Costos de la preparación del sitio.
- 2.2.6. Costos del relleno ya terminado.
- 2.2.7. Requerimientos para la Preparación del Sitio.
- 2.2.8. Requerimientos para el uso final del Sitio.

2.3 TRABAJOS DE INGENIERIA CIVIL

- 2.3.1. Facilidad para realizar drenajes.

- 2.3.2. Facilidad para realizar caminos de acceso e internos .
- 2.3.3. Facilidad para conectar servicios públicos .
- 2.3.4. Tratamiento de las aguas contaminadas
- 2.3.5. Bombeo.
- 2.3.6. Construcción de oficinas y área de servicios.

Todos los factores mencionados deben ser investigados - de acuerdo a los sitios específicos que se están estudiando, ya que no habrá dos sitios que presenten las mismas características; de tal manera que cada caso requiere mayor o menor énfasis de estudio de los factores anteriormente listados.

De todas las variables listadas, algunas de ellas tienen gran peso a la hora de la decisión del sitio. Estas variables son discutidas con más detalle en los siguientes párrafos.

2.1. LOCALIZACION Y CONDICIONES FISICAS

2.1.1. AREA DISPONIBLE PARA LAS OPERACIONES

Debido a que se tendrán inversiones fuertes en la compra del terreno y maquinaria así como en la preparación del sitio y la instalación de servicios, es conveniente que el área disponi - -

ble pueda servir para relleno sanitario cuando menos por cinco - años, y preferible 10 años

2.1.3 DISTANCIA A LAS ZONAS DE RECOLECCION

Desde que el costo de transporte debe de ser considerado como parte de los costos de la operación del relleno, las opciones entre distancia y bajos costos de operación deben ser considerados en todas las alternativas.

Por ejemplo, la disponibilidad de vehículos de transferencia de gran capacidad en un municipio, puede ser atractivo al tener grandes distancias de transporte en ese tipo de vehículos y pequeñas distancias de transporte en los vehículos recolectores. Ahora la economía de usar estaciones de transferencia debe ser investigada con cuidado y puede ser encontrada atractiva esta solución, solo que el gasto de mejorar las condiciones de los caminos de acceso y los interiores para soportar los vehículos de transferencia puede desechar esta idea.

Cuando la misma lógica es aplicada a varios sitios, se puede estar seguro en términos del costo total proyectado, la selección final realizada será la mejor disponible en ese tiempo.

2.1.4 ACCESIBILIDAD A LA ZONA

La disponibilidad de más de un camino, facilita el acceso al sitio, y también el tránsito relativo en las carreteras que llevan al sitio. Este factor en algunos casos debe ser de más importancia que la distancia de transporte, ya que el costo mayor - en el transporte de desechos sólidos es el de la mano de obra y no el kilometraje del vehículo, esto se recrudece especialmente - en el caso de vehículos pequeños.

2.1.5 PROPIEDAD ADYACENTE

Todos los razonamientos anteriores pueden resultar teóricos si existe una fuerte oposición por uno o más de los dueños de las propiedades adyacentes. Si los caminos de acceso al sitio son adyacentes ó son construídos atravezando áreas residenciales o comerciales, la operación resultará con una multitud de quejas o posibles órdenes judiciales.

2.1.9 DISPONIBILIDAD DEL MATERIAL DE CUBIERTA

Para que un relleno sea considerado sanitario, este deberá ser cubierto al final de las operaciones del día o tan frecuente sea necesario, de la anterior aseveración se desprende la

importancia que reviste tener material de cubierta disponible.

A continuación se presentan unas cuantas preguntas, las cuales deberán tener respuestas definitivas, de otra manera la inhabilidad para asegurar material de cubierta en la zona o en sus cercanías o es prohibitivo su costo, esto puede descartarlo como sitio para relleno sanitario.

¿ Existe tierra en el sitio ?.

¿ Es posible su remoción ?.

¿ Puede ser almacenado ? .

¿ Donde ?.

¿ Los caminos de acceso y de servicio son transitables en todo tiempo ?.

¿ Puede ser removido en tiempo de secas solamente ?.

¿ A que profundidad puede ser excavado ?.

¿ Cuáles son las elevaciones requeridas del nivelado final ?.

¿ Es el suelo propicio para usarlo como material de cubierta ?.

¿ Si no hay material para cubierta en el sitio, es posible obtenerlo en la cercanía ?.

¿ Puede ser comprado y a que costo ?.

2.1.10 PRESENCIA DE AGUA SUPERFICIAL EN LA ZONA

La presencia de pequeños estanques debe de ser revisadas, ya que estos son el resultado de un deficiente drenaje natural y una probable alta impermeabilidad del suelo debido a la presencia de suelos cohesivos y poca evaporación en la zona. También es posible la presencia de un nivel de aguas freáticas alto.

En todos los casos, es muy recomendable obtener al menos la información general geohidrológica, en lugar de un estudio geohidrológico realizado por una compañía de ingeniería. Esta información general es posible en la mayoría de los casos con las autoridades hidráulicas del lugar.

Este tipo de problemas en algún sitio nos dará elementos para la decisión debido a los costos que se necesitarían para preparar y adecuar la zona para un buen drenaje y los costos de la protección del agua freática.

2.1.13 PROXIMIDAD DE ABASTECIMIENTOS DE AGUA POTABLE

Se debe tener en cuenta la localización de los abastecimientos de agua potable de la comunidad, ya que un sitio cerca de ellos debe ser descartado en las primeras fases de un proyecto.

Con el objeto de no tener ningún problema de contaminación en un momento que llegará a fallar la operación del relleno sanitario, ya sea en forma natural o sobrenatural.

2.2. REQUERIMIENTOS PARA EL USO DEL SITIO

2.2.1. PLANIFICACION LOCAL DEL USO DEL SUELO

Sin duda para llegar a la selección de un sitio, éste debe de cumplir con lo establecido en los planes reguladores de la ciudad en estudio.

2.2.3. POSIBILIDAD DE COMPRA, RENTA O PRESTAMO

Al igual que el punto anterior se debe de conocer la factibilidad de la compra, renta o préstamo del sitio seleccionado, ya que sin ese conocimiento, quizás los demás factores resulten infructuosos y vagos.

2.2.4. USO FINAL

El uso final del sitio convierte la inversión inicial más o menos atractiva, sin embargo, en algunos casos, cuando un uso específico del sitio al final de la operación es planeado, puede -

hacer que los costos de las mejoras para lograrlo, lo hagan prohibitivo.

En la mayoría de los casos, el sitio seleccionado debe ser tal, que puede ser mejorado con la operación del relleno sanitario. Así se logra que con inversiones razonables compartidas con el beneficio de disponer sanitariamente los desechos sólidos - se logre un desarrollo total del área en cuestión.

No hay que olvidar que al tener la mejor elección del sitio para el relleno sanitario, eliminará en la mayoría de los casos muchos problemas operacionales en el futuro. Lo cual sin duda redundará en la reducción de los costos de operación.

3.1. ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DEL SITIO

Asumiendo que el resultado del proceso de la selección del sitio es un sitio potencialmente bueno, un detallado estudio geohidrológico es necesario, en orden de verificar datos previos y proveer detallada información del proceso de diseño.

El primer requerimiento básico es un conocimiento más profundo de los suelos y la geología que el realizado en la selección del sitio. Un buen Geólogo (preferentemente con conocimientos de Hidrología Subterránea), debe ser contratado para examinar el sitio, un plan programado de pozos y la obtención de información detallada sobre las condiciones geológicas del lugar.

En muchos de los casos las autoridades o compañías privadas se tratan de ahorrar dinero en este punto al no realizar el estudio geohidrológico. Pero no hay mayor error que el no realizarlo, ya que con la información resultante del estudio se podran conocer puntos importantes para el diseño y una cosa de gran importancia como lo es el flujo de agua subterránea el cual puede sufrir efectos de su pureza por el probable lixiviado que se pudiera generar en el relleno y que pudiera contaminar agua susceptible de ser aprovechada como abastecimiento o que ya es usada como abastecimien

to de agua potable, lo cual redundaría en un costo mayor que el que se pudiera ahorrar en esta fase de un estudio para relleno sanitario, al contaminar esos abastecimientos.

El estudio geohidrológico nos debiera de proporcionar como objetivos principales del mismo, la localización del nivel - de aguas freáticas y un corte estatigráfico de los suelos, de tal manera que nos de información acerca de la disponibilidad de tierra que tenemos para material de cubierta así como sus características geológicas las cuales nos ayudaran a conocer el volumen disponible de material de cubierta así como la línea de máxima excavación en la operación del relleno sanitario.

En algunas ocasiones las limitaciones económicas - de los municipios impiden llevar a cabo un estudio geohidrológico completo realizado por alguna compañía especialista, en estos casos se deben de realizar dos cosas como mínimo: Primero llevar a cabo pozos a cielo abierto, hasta que se encuentre un material - impermeable, en el caso del método de área estos pozos no deberán ser mayores de 6 metros cuando las condiciones lo permitan y el mínimo sera cuando se encuentre un estrato impermeable de estos pozos podremos conocer la estatigrafía del suelo dandonos una idea bastante aproximada de las condiciones del sitio.

El número de pozos deberán cumplir con lo que establece en la tabla No. III-4, en la cual indica según el área disponible, el número y la configuración de los pozos a realizar.

El segundo es sin duda investigar en las cercanías en las norias o pozos profundos, o con las autoridades hidráulicas de la localidad el nivel de aguas freáticas de tal manera que se tenga una información lo más aproximada al sitio en cuestión, pero si existe alguna duda considerable, el estudio geohidrológico será necesario llevarlo a cabo o cambiar de sitio para el relleno sanitario.

3.2 CLIMATOLOGIA

Todo lo referente a la Climatología viene incluido básicamente en el ciclo hidrológico, por lo que a continuación se discute. Además se agrega la influencia de la temperatura y el viento en la operación de un relleno sanitario.

3.2.1. CICLO HIDROLOGICO

Sin duda los procesos que componen el ciclo hidrológico (fig. III-5) juegan un papel muy importante en el diseño y la operación de un relleno sanitario, a continuación se describen estos procesos y su influencia en el diseño y operación de un relleno.

3.2.1.1. PRECIPITACION

Los cambios en la presión del aire y la temperatura - asociados con los movimientos de esas masas de aire causan que se sature con vapor de agua. Este vapor de agua luego será condensado alrededor de minutas partículas sólidas que estan en suspensión en el aire produciendose luego su precipitación.

La precipitación tiene influencia en el diseño del relle no ya que conociendo la precipitación del sitio seleccionado, esta sera parte importante en el diseño de los drenajes, el calculo de lixiviado que se generará potencialmente, el calculo de agua de escurrimiento, finalmente ayuda al diseño de las áreas de trabajo de la operación. En lo que respecta a la operación del relleno en tiempo de lluvia, puede hacer que el material de cubierta sea mas dificil de esparcir y también dificultar su compactación. Otro - problema es la dificultad en un momento dado que pueda ocasionar al transito de vehículos en los caminos de terraceria dentro del - sitio.

3.2.1.2 EVAPOTRANSPIRACION

El agua que es precipitada sobre la tierra, una gran - cantidad es regresada a la atmósfera como vapor, a través de acción

combinada de la evaporación, la transpiración, y la sublimación.

La evaporación es el proceso por el cual las moléculas de agua en la superficie del agua o humedad del suelo adquieren suficiente energía a través de la radiación del sol para escapar del estado líquido al estado gaseoso.

Para llevarse a cabo la evaporación intervienen uno o más de los siguientes factores:

- Las variaciones de la tensión de vapor de agua bajo la acción de la radiación solar (condicionada por la temperatura de la superficie del agua evaporada).
- La temperatura, con una evaporación mas activa cuanto mayor es la temperatura del agua y del aire. En consecuencia disminuye la evaporación en función de la altitud del suelo.
- El viento, a causa de la renovación constante del vapor de agua que origina sobre la superficie evaporante.
- La presión atmosférica, que provoca un aumento de la evaporación cuando esta presión tiende hacia un máximo.
- La naturaleza de la superficie de evaporación, ya que esta es más fuerte sobre un suelo irregular en su superficie y a la vez saturado de agua.

La sublimación difiere de la evaporación porque las moléculas de agua son convertidas desde su estado sólido (nieve o hielo) directamente a vapor, sin pasar por el estado líquido.

La transpiración es el proceso por el cual las plantas pierden agua hacia la atmosfera. En muchas regiones es imposible medir separadamente la evaporación de la transpiración, por lo que en la actualidad se le ha dado por llamarlos evapotranspiración.

El proceso de la evapotranspiración interviene también en el cálculo del lixiviado y en los cálculos que podremos esperar de evaporación de lixiviado cuando se trata este, de esta manera.

3.2.1.3 ESCURRIMIENTO

El escurrimiento es el agua de lluvia que no se infiltra o no se evapora, esta escurre sobre la superficie y alimenta las corrientes de agua. Esta fracción de agua de lluvia escurrida es la única que puede conocerse con cierto valor en una cuenca considerada.

El agua de escurrimiento es una función de la intensidad de la precipitación, la permeabilidad de la superficie del suelo, - de la duración de la precipitación, del tipo de vegetación, del -

área de la cuenca, de la distribución de la precipitación, de la profundidad del nivel de aguas freáticas, de la pendiente superficial.

Los factores que actúan sobre el escurrimiento son de - naturaleza meteorológica, geológica y topográfica.

Los factores meteorológicos son: La intensidad y la duración de la lluvia, las condiciones de temperatura y la humedad del aire.

Los factores geológicos son la permeabilidad y capacidad de retención de los suelos y las rocas tipo (calizas o rocas ígneas fisuradas) y la porosidad (arena, areniscas, aluviones de grano grueso etc).

Los factores topográficos son: La extensión de la superficie de la cuenca y su pendiente media. En las zonas áridas todos estos factores pueden contribuir a reducir a cero el coeficiente - de escurrimiento.

El agua de escurrimiento tiene gran efecto en el diseño y la operación del relleno sanitario, este factor es el de mayor consideración para el diseño de los drenajes exteriores e interiores del sitio, ya que al ser el mayor volumen de agua a considerar si no es controlado causa bastantes problemas que puede llegar a

dejar inoperable el sitio en la temporada de aguas. También relacionado al agua de escurrimiento es sin duda la potenciabilidad de generarse lixiviado en el relleno al entrar el agua en contacto con el estrato de desechos.

3.2.1.4 INFILTRACION

El agua de infiltración es aquella que no ha podido evaporarse o escurrir, o sea que se introduce en el suelo.

Esta infiltración depende de varios factores, entre los cuales el del suelo es preponderante. Estos factores son:

- La naturaleza del suelo interviene en primer lugar, ya que sobre un terreno impermeable toda el agua de lluvia escurre, y a la inversa, el escurrimiento se vuelve nulo en los terrenos muy permeables.
- La influencia del clima sobre la infiltración es igualmente notable, ya que en las zonas áridas las lluvias fuertes y de corta duración no tienen tiempo de penetrar lo suficiente en el suelo para alimentar el manto freático o para construir uno y son a menudo retomadas por la evaporación.
- La influencia de la vegetación es igualmente preponderante por su papel regulador de la infiltración y atenua

dora de los efectos de la evaporación sobre el suelo y de la erosión.

La capacidad de infiltración debe tomarse en cuenta en el diseño de un relleno sanitario ya que deberemos de conocer esta capacidad del suelo que nos vá a servir como material de cubierta. Debido a que debemos tener un material semiimpermeable para minimizar el agua de escurrimiento que se pueda infiltrar a los estratos de desechos sólidos.

3.2.1.5. TEMPERATURA

Las condiciones imperantes a través del año de trabajos en la operación de un relleno sanitario es punto fundamental en el diseño de las necesidades de construcción para los empleados y la maquinaria.

En lugares donde las temperaturas en tiempo de invierno bajan del punto de congelación, la operación de cubrir y remover material de cubierta se dificulta y retarda la operación, refleján dose todo esto en la elevación de los costos de operación.

3.2.1.6 VIENTOS

Los vientos son causa de problema en la operación ya -

que arrastra los materiales susceptibles de ser llevados por el viento, por esta razón es parte importante de considerar tanto en el diseño, como en la operación, ya que se necesitará diseñar las bardas móviles portátiles para controlar ese problema.

también debe de considerarse la dirección de los vientos predominantes en el lugar, para evitar en un momento - dado la posibilidad de olores desagradables, resultados de una falla en la operación y pueden llegar a las zonas habitacionales.

4 PREPARACION DEL SITIO

4.1. DESMONTE

En el desmonte se incluye la remoción de la vegetación que puede ser hierbas, malezas, matorrales, tocones y árboles.

Antes de iniciar la preparación del sitio, quizás sea necesario quitar otros materiales, como piedras, muros y edificios o sus cimientos.

Existen dos formas de llevar a cabo un desmonte: el desmonte manual y el desmonte mecánico, los cuales son descritos a continuación:

4.1.1. DESMONTE A MANO

Para quitar pequeños matorrales o para desmontar terrenos de gran superficie, tan pantanosos y abruptos que dificulten el uso de las máquinas, el método más económico puede ser el manual. Además con algo de este tipo de trabajo se facilita mucho la mayoría de los métodos de desmonte con maquinaria.

Usualmente se queman los matorrales y se amontonan a los lados del sitio. Y si las condiciones lo permiten, es mejor quemar

los inmediatamente después de cortarlos para evitar movimientos -
posteriores. Si las molestias del humo o el peligro de incendio impi-
den este método, se amontonan y se queman una vez que se hayan seca-
do o hasta que las cuadrillas que realizaron el desmonte estén fuera
de alcance del fuego.

La maleza cortada puede partirse en pedazos o acarrear-
se o también hacerse ambas cosas para evitar incendios en el sitio
del relleno.

4.1.2. DESMONTE CON MAQUINARIA

4.2.1. BULLDOZER

El bulldozer es la máquina adecuada para el desmonte. -
Trabaja mejor cuando el terreno es suficientemente firme para sopor-
tarla y cuando no hay hoyancos, zanjas, lomas pronunciadas o rocas.
Las superficies desiguales dificultan mantener la cuchilla en contac-
to con el piso y más que remover la vegetación, la entierran en los
hoyos

Sin embargo, existen pocos lugares adonde un bulldozer no
puede ayudar a las cuadrillas que desmontan a mano, desmontando su-
perficie en las que pueden operar, moviendo troncos y cortando ma-
torrales, abriendo rutas para los caminos de abastecimiento o extin-
guiendo incendios.

Los bulldozer tienen una ventaja especial sobre las - cuadrillas en lugares donde son abundantes las enredaderas y zarzales, ya que es muy molesto cortarlas, pero se arrancan fácilmente con la cuchilla, siempre y cuando el operador no avance tanto que quede enredado en la maraña.

Los bulldozer ligeros, de la clase de dos toneladas, - pueden trabajar sobre terreno muy blando si tiene una costra dura o está cubierta de césped.

Los matorrales y árboles pequeños pueden ser removidos con un bulldozer caminando con la cuchilla en contacto superficial con el terreno. Esto desenraizará o quebrará algunos de los troncos y doblará los demás, de tal modo, que con un viaje de regreso en dirección opuesta se pueden quitar otros más. Si la distancia es - corta, es mejor usar el bulldozer en una dirección en todo el pedazo, y luego, a través o de regreso. Primeramente, se derribarán - los árboles pequeños aislados y después se retiran con otra pasada en la misma dirección.

Los resultados varían con el tipo de vegetación y las - condiciones del terreno. En las tierras secas se quebrarán un alto porcentaje de troncos, mientras que las condiciones húmedas o arenosas favorecen el desenraice, que es más satisfactorio para la mayoría de los propósitos. El trabajo se puede acelerar poniendo - a un trabajador a cortar o recoger los arbustos separados que, de

no ser así, requerirán otra pasada del bulldozer.

Los montones de breña se limpian muy bién de tierra se ca y suelta volteándolos con la cuchilla y sacudiendo ésta de arriba hacia abajo. Si esto no da resultado, hay que tratar de voltear los hacia atrás o empujarlas de lado. Para este trabajo es muy útil un bulldozer con una cuchilla de empuje que se pueda inclinar hacia ambos lados, ya que una esquina puede usarse para sacar las raices y empujar los montones sin que se acarreen al mismo tiempo llenos de basura; se limpia la superficie de matorrales, regresando la - hoja a la posición horizontal.

PROTECCION DEL BULLDOZER

Cuando un bulldozer esta desmontando maleza densa, existe el peligro de que caiga en algún hoyo, natural o artificial, - oculto por los matorrales.

Esto se puede prevenir explorando la superficie a pie, y moviéndose hacia adelante en una sucesión de empujes cortos que se trasladen lateralmente. Esto permite al operador ver desde un lado, sin que le caigan ramas a la cara, y observar la naturaleza del terreno. Además, se evita enredar el bulldozer en ramas y enredaderas.

Cualquier bulldozer que se utilice para desmonte debe ser protegido perfectamente con protecciones para el cárter, el cigueñal y el radiador; incluyendo para este último, una pantalla con agujeros no mayores de un cuarto de pulgada, que facilite la remoción de hojas y basura.

Deberá tenerse cuidado de no permitir que las ramas se enreden en el ventilador o el radiador mientras se retrocede, o permitir que se enreden con las mangueras hidráulicas u otras partes vulnerables, en cualquier momento. El operador deberá llevar consigo una podadora manual y un hacha o machete para cortar estos enredos. Las ramas han sido la causa de accidentes al mover los controles del acelerador y del embrague.

4.1.2.2 RASTRILLOS

La mejor herramienta para desherbar es una cuchilla especial que tiene dientes que se proyectan hacia abajo desde una orilla sólida. Estos rastrillos para matorrales permiten que los dientes trabajen bajo el nivel del terreno, sacando las raíces al mismo tiempo que el material que esta sobre la superficie y dejando pasar la tierra a través del espacio entre los dientes. En la misma operación, estas máquinas arrancan tocones pequeños sueltos y roca-suelta.

Un cargador de tractor con cucharón de volteo hidráulico, provisto de dientes, hace el mismo trabajo, excepto que los dientes son más cortos y, por lo tanto, no penetran tan profundamente ni dejan pasar la basura. Puede, también recoger montones y acarrearlos o ponerlos en camiones, hacer montones muy altos, volcar los matorrales sobre el fuego; compactarlos sobre un fuego débil, golpeándolos ligeramente con el cucharón, y atizarlos con el movimiento hacia adelante de la corriente de aire del ventilador de su radiador puesto en reversa.

Para mejores resultados, cualquier clase de remoción mecánica de matorrales que deban ser quemados, deberá efectuarse cuando la tierra esta seca. Si se excava cuando esta húmeda, se le pegará mucho lodo, este lodo se puede quitar algunas veces después de que se haya secado, cuando se volteen y empujen los montones.

4.1.2.3 CABLE DE ARRASTRE

Dos potentes tractores o bulldozer pueden comenzar a desmontar, moviendose a través de la vegetación en caminos paralelos arrastrando un pesado cable entre ellos. Este cable deberá ser suficientemente fuerte para aguantar el tirón de ambos tractores, y suficientemente largo para que no jale los árboles por la parte superior. En la primera pasada, el cable jalará la mayor parte de

la vegetación, desenraizándola o rompiéndole algo. Se hace un vía je de regreso sobre el mismo camino, desenraizando la mayor parte de los remanentes bajo condiciones favorables. El material aflojado es apilado entonces por la draga con cucharón de almeja o por los bulldozer, preferiblemente con rastrillos.

Un tercer bulldozer puede seguirles de cerca, para ayudar con cualquier árbol que el cable no pueda manejar, y empujar los troncos volteados.

Este método no es efectivo contra tocones bajos, que pueden ser evitados sosteniendo el cable con una bola hueca de acero.

4.1.3. LIMPIEZA GENERAL

Cuando la limpieza final de cualquier clase de desmonte - de matorrales se hace a mano, es útil proporcionar a los trabajadores acarreadores, que son palos que se pueden convertir con un pedazo de lona gruesa de dos o más metros de largo, por uno o uno y medio de ancho, con agarraderas en los extremos en acarreadores. Estos se colocan sobre el suelo y los palos y ramas se amontonan transversalmente, las agarraderas se recogen, pudiéndose llevar - varios montones al mismo tiempo con un esfuerzo mínimo.

El uso de bardas perimetrales y portátiles en el sitio donde se está llevando a cabo la operación de un relleno sanitario tiene como objetivos principales la protección y seguridad del sitio y el control del acceso de los vehículos recolectores en el caso de las bardas perimetrales y controlar el material liviano susceptible de ser arrastrado por el viento en el caso de las portátiles.

El bardeado perimetral asegura en gran medida la protección y seguridad del sitio, ya que con ella se evita la entrada a personas ajenas a la operación del relleno ya sean personas sin interés en los desechos, o aquellas personas que se dedican a la recolección de subproductos de los desechos que son un problema para el eficiente desarrollo de la operación del relleno. Limitando también la entrada de animales al sitio y el límite de la propiedad.

El control del acceso al sitio, ayuda en forma extraordinaria a la eficiente supervisión del uso óptimo de los vehículos recolectores del sistema de limpia municipal y también para aquellos vehículos privados que deseen depositar ahí los desechos. Esto sin duda nos permitirá además una eficiente operación del relleno sanitario ya que al controlar el acceso se podrá indicar a los vehículos donde deben depositar sus desechos en el frente de trabajo.

En el caso de la barda perimetral lo más recomendable es una barda de malla tipo ciclónica de dos metros de altura con una colocación en la parte superior de tres hiladas de alambre con puas con una inclinación de 45° hacia la parte exterior del sitio. Pero pueden construirse otro tipo de bardas unas más económicas y otras más caras, la selección depende de las necesidades y recursos financieros con que se cuente.

Una barrera de árboles en el perímetro del sitio ayudaría en forma eficiente a la estética del lugar y la reducción de ruidos y polvo provenientes de la operación del relleno sanitario.

En el caso de las bardas portátiles éstas, son de utilidad ya que varios componentes de los desechos son muy susceptibles de ser arrastrados por el viento y así causar problemas en las vecindades del relleno y causando con ello mala impresión a la vista de la población.

Estas bardas son utilizadas en el frente de trabajo colocadas en la dirección contraria de los vientos dominantes en ese día, por lo regular en lugares de moderado viento una barda de 1.50 metros de alto por tres de ancho es más que suficiente, en los lugares de mucho viento una barda de mayor altura y ancho será necesaria, las dimensiones nos las darán las condiciones locales de cada caso.

4.3. CAMINOS DE ACCESO

Los caminos de acceso al relleno sanitario pueden ser permanentes o temporales.

Los caminos permanentes serían provistos desde el sistema de caminos públicos hacia el sitio. Un sitio grande tendría que tener caminos permanentes que le permitan la entrada hasta la vecindad del área de trabajo.

Ellos serán diseñados suponiendo por anticipado el volumen de tráfico de camiones a manejar. En general los caminos consisten de dos carriles (con un ancho total mínimo de 8 metros), para dos vías de tráfico. Las pendientes no excederán a las limitaciones del equipo.

Para algunos vehículos las pendientes hacia arriba serán menos que el 7% y para pendientes hacia abajo menos del 10%

El costo inicial de los caminos permanentes es más alto que el de los caminos temporales, pero los ahorros en la reparación de equipo y mantenimiento justificarán la construcción de los permanentes en el sitio.

Los caminos temporales son normalmente usados para enviar los desechos al frente de trabajo desde el sistema de caminos permanentes porque la localización del frente de trabajo está cambiando

do constantemente.

Los caminos de acceso mal diseñados comunmente son un problema en tiempo de lluvias y en tiempo de seca a menudo tienen muchos hoyos que los hacen realmente intransitables. Se recomienda que si menos de 25 viajes redondos al relleno sanitario son esperados, un suelo nivelado y compactado usualmente es suficiente y si son más de 50 viajes redondos por día se justifica el uso de cloruro de calcio como inhibidor de polvo ó materiales aglutinantes como cemento o asfalto; una base más de un material aglutinante si de 100 a 150 viajes redondos son esperados.

También se recomienda la construcción de caminos bituminosos los cuales soportan la prueba del tiempo y minimizan los costos de mantenimiento.

Cuando los caminos bituminoso son imposibles de realizar, los suelos con alto contenido de grava proveerán la mejor alternativa, porque ellos presentan una buena cubierta de la superficie y tienen excelentes características de drenaje.

En la tabla se presenta una sinopsis completa de las características de los caminos de acceso con diferentes tipos de suelo.
Tabla No. III-6

Además en el diseño de la entrada al sitio debemos tener como objetivo lo siguiente:

Minimizar la interferencia en el camino principal. Minimizar tiempos muertos de transporte. Presentar una entrada atractiva. Disimular el sitio a la vista del público, mediante la plantación de árboles de sombra en la parte vista por el público, que transita por la carretera.

Y también los caminos de acceso deberán cumplir con los siguientes objetivos:

Proveer un acceso casi permanente a los vehículos recolectores. Minimizar el tiempo de transporte dentro del relleno. Que los caminos sean de utilidad para el uso final del relleno. Proveer el acceso lo más rápido posible al frente de trabajo.

4.4 BASCULAS

La Báscula en un relleno sanitario juega un papel muy importante, ya que con ella se logra llevar el control de los desechos que entran a disposición final y también auxilia a la administración del sistema de recolección ya que con el pesado de los vehículos podremos conocer la eficiencia de la utilización del equipo, así como del personal de los mismos. También es un eficiente auxiliar en la determinación de la vida útil sobrante del sitio.

Existen dos tipos de básculas en el mercado, las portátiles y las electrónicas, el tipo y tamaño de las mismas dependerá de la magnitud de la operación del relleno sanitario.

Las Básculas portátiles regularmente usadas en rellenos de pequeña magnitud, cargan separadamente los ejes de los vehículos de recolección, son económicas, pero de corta vida útil.

Las básculas electrónicas altamente automatizadas, registran el peso del vehículo en una tarjeta, así como su tara a la salida del mismo vehículo. Este tipo de básculas con mucho más caras que las portátiles, pero su uso será justificado si la operación del relleno es de gran magnitud, ya que se tiene mayor seguridad de pesaje y mayor precisión.

Este tipo de básculas cuentan con una plataforma de cubierta, las cuales puedan ser construidas de madera, acero o -

concreto; El primer tipo es el mas económico y a la vez el menos durable. Esta plataforma esta conectada por medios electrónicos al registrador, el cual proporciona el peso del vehículo. Estas plataformas deberan ser lo largo necesario para pesar todos los ejes del vehículo más largo esperado en forma simultánea.

Estas básculas deberán ser capaces de soportar a vehículos de gran capacidad que usaran el relleno sanitario como destino - final.

En la etapa de diseño deberemos de conocer el tipo de vehículos que usaran el relleno y así podremos seleccionar la báscula mas apropiada, Regularmente una capacidad de peso de 30 toneladas es mas que suficiente para un relleno de gran magnitud. El cual - recibirá vehículos de transferencia.

La exactitud y el mecanismo interno de la báscula se encontrarán anotados en el plan de operación y además los requerimientos comerciales impuestos por las Autoridades Federales o Locales deberan ser cumplidos, particularmente si se usan pagos que son - basados sobre el peso.

Las Básculas deberan tener una exactitud del ± 1.0 por ciento en cargas comprendidas hasta 14 toneladas. Todas estas básculas deberan ser verificadas y certificadas como una medida de seguridad y control. Cuando menos la inspección incluirá pruebas a la báscula con pesos conocidos.

4.5. OFICINAS Y ALMACENES

4.5.1. OFICINAS

Aunque la mayoría de los trabajadores de un relleno sanitario trabajan en el sitio donde se está llevando a cabo la operación del mismo, es de importancia vital el de proveer al sitio con las construcciones adecuadas para el mencionado personal.

Estas construcciones deberán tener como mínimo las siguientes partes:

- Oficina de Ingeniería
- Cuarto del Basculista
- Baños y Regaderas
- Vestidores y Lockers
- Comedor

Muchos trabajadores aceptarán con beneplácito trabajar en un relleno sanitario si a este se le proporcionan las instalaciones adecuadas para sus mínimas necesidades de aseo y trabajo. Estas instalaciones deberán ser construidas cuando el sitio de disposición vaya a tener una vida útil de más de 12 años.

En los rellenos sanitarios con vida útil limitada, se debe proveer como mínimo una caseta portatil en la cuál se cuente

con un lugar para comer, cambiar de ropas y trabajar, además de los servicios sanitarios.

4.5.2. ALMACENES DE MAQUINARIA Y EQUIPO

La maquinaria y equipo a utilizar en el relleno sanitario es parte fundamental para lograr los objetivos de disponer de los desechos sólidos en una forma sanitaria, por lo tanto estos instrumentos deberán tener ciertas consideraciones para su óptima utilización.

Es necesario contemplar la construcción de locales para el almacenamiento del equipo pesado utilizado en el relleno, cuando no sea hora de operación y cuando, se necesita un mantenimiento preventivo o correctivo para facilitar las operaciones del personal de mantenimiento.

Las necesidades del almacenamiento y equipo dependen grandemente si el programa de mantenimiento será llevado a cabo en el sitio del relleno o si será el equipo trasladado a un lugar central para su mantenimiento y se use un equipo suplente, aún en este último caso, es de utilidad el tener un lugar cerrado en el sitio donde se proveerá el mantenimiento diario y pequeñas reparaciones que se puedan llevar a cabo en el mismo sitio.

La base del sitio de almacenamiento se diseñará tomando

en cuenta el rango del peso del equipo a utilizar en el relleno y sin olvidar la carga concentrada en un momento dado sobre un gato hidráulico.

El sitio de almacenamiento deberá contar con una área - para la herramienta y equipo menos necesario para la operación, ésta área dependerá del programa de mantenimiento a llevar a cabo en el relleno sanitario.

4. 6. MONITOREO

Conocido que el fin de un relleno sanitario es el de evitar la contaminación producida por los desechos sólidos; el monitoreo de la calidad del agua subterránea toma caracteres importantes debido que nos darán a conocer las posibles alteraciones que puedan sufrir las aguas subterráneas con el transcurso del tiempo.

El sistema de monitoreo deberá constar con un mínimo de 2 pozos de muestreo, que deberán ser situados en la dirección del flujo subterráneo uno antes de llegar al sitio del relleno y otro aguas abajo del sitio del relleno. Sin embargo es muy recomendable un tercer pozo de muestreo en el sitio del relleno sanitario para conocer las calidades del agua subterránea en un momento dado.

Los pozos de muestreo nos darán las facilidades para tomar muestras de aguas subterráneas, las cuales serán analizadas física, química y bacteriológicamente, con el fin de conocer en un tiempo determinado el efecto negativo que pudiera causar una falla en el diseño de tal modo que se infiltrará el lixiviado a esas aguas subterráneas.

El programa de muestra deberá ser en una forma periódica, tomando muestras cuando menos semanalmente para los análisis de -

rutina (DBO, DQO, Sólidos, pH y Bacteriológicos) y mensualmente - análisis de otros elementos contaminantes (metales pesados, nitrógeno, sulfatos etc).

Un buen sistema de monitoreo preveerá desde un principio los problemas que se presenten con el tiempo suficiente para realizar las acciones tendientes a solucionarlo y así evitar el detrimento irreversible de la calidad del agua subterránea.

Sin lugar a dudas el buen diseño del sistema de drenajes tanto exteriores como interiores, resolverá uno de los problemas más críticos en la operación de un relleno sanitario.

El agua de escurrimiento es motivo de preocupación en la operación de un relleno sanitario por los potenciales problemas de contaminación que pueden presentarse al estar el mencionado elemento en contacto con los estratos de desechos sólidos; ya que al efectuarse dicho contacto, se genera al paso del agua entre los desechos un percolado conocido con el nombre de lixiviado, el cual presenta características altamente contaminantes a los cursos de agua superficial y al flujo de agua subterránea.

Además del problema anterior, el agua de escurrimiento sin control es causa de erosión de la tierra; dicha erosión causa efectos adversos a la operación de un relleno sanitario, ya que al llevarse la corriente el material de cubierta, los desechos que darán al aire libre con los consiguientes efectos contaminantes sobre el medio ambiente.

Por lo anterior, el diseño del drenaje del sitio de disposición es un elemento importante del diseño completo de un relleno sanitario y sin duda una valiosa cooperación a la operación del relleno en tiempo de lluvias.

Con el diseño de los sistemas de drenajes de un relleno debemos solucionar los siguientes problemas:

- El agua de escurrimiento fuera del sitio de operación.
- El agua de escurrimiento dentro del sitio de operación.
- El agua de escurrimiento en el sitio terminado.
- El lixiviado en el sitio de operación.

5.1. DISEÑO DE LOS DRENAJES EXTERIORES

Dado que el agua representa problemas, una de las funciones del diseñador es precisamente la de minimizar la entrada de agua en el sitio de operación. El primer paso en el diseño es el de minimizar el agua de escurrimiento que entra al sitio, por medio de - obras de contención y desuso tales como canales, bordos, barreras impermeables y otros.

Para el diseño de este drenaje se deben tomar en cuenta los siguientes factores: El área de aportación al sitio, el tipo de suelo superficial y la intensidad de la lluvia. Con estos factores se podrá calcular por medio del método racional, el caudal a esperar, con el área de aportación del sitio.

Conociendo el gasto mencionado en el punto anterior y por medio de la fórmula de Manning y la ecuación de la continuidad se podrá calcular el canal para desviar el agua de escurrimiento esperado.

Otra forma de desvío poco utilizada es la construcción de un bordo de contención situado en la parte alta del sitio, siempre tomando en cuenta la dirección del flujo de agua de escurrimiento. También es de uso común, la colocación de canaletas de lámina galvanizada o tambos partidos a la mitad en el sentido longitudinal, para desviar el agua superficial.

5.2 DISEÑO DE LOS DRENAJES INTERIORES

Debido a que la precipitación es potencialmente uniforme dentro y fuera del sitio de operación, es necesario la creación de un sistema para controlar el agua que se precipita dentro del sitio.

Como la operación de un relleno sanitario obedece a un plan predeterminado en el cual se divide el sitio en áreas de trabajo, el diseño del sistema de drenajes se limita a controlar que el agua de escurrimiento dentro del sitio no llegue al área de trabajo, por lo que se simplifica el diseño.

El procedimiento para el mencionado control, es realizado de la misma manera, que el utilizado para los drenajes exteriores. El cual consiste en el diseño de canales de desvío del agua superficial, susceptible de llegar al sitio donde se llevan a cabo las operaciones.

Este tipo de canales utilizados en los drenajes interiores difieren de los usados exteriormente, ya que son llenados con grava con el fin de que no interfieran con el paso de los vehículos de Recolección.

5.3. DRENAJE DEL SITIO TERMINADO

De acuerdo con los propósitos de uso final del sitio, éste deberá tener una pendiente mínima del dos por ciento para reducir la cantidad de agua de lluvia que permanezca o se infiltre en el terreno, y también con el objeto de evitar la erosión que tan dañina puede resultar para el sitio terminado.

Esta pendiente se logra con el uso de motoconformadoras, las cuales afinan realmente la pendiente dejada cuando se construyeron las celdas.

Aquí juega también un papel importante el material de cubierta utilizado para la cubierta final. De las características de la cubierta se hablará posteriormente en el capítulo de operación.

Como se mencionó anteriormente, el sitio se divide en áreas de trabajo de la operación, como es imposible evitar que parte de la precipitación caiga sobre el área de trabajo, esta es la única susceptible de entrar en contacto con el estrato de desechos sólidos, por lo tanto es factible la generación de lixiviado el cual debe ser colectado mediante drenajes.

Al iniciar las operaciones del relleno se tiene que - excavar un canal el cual se llena de grava en el extremo del área de trabajo y sobre el se inicia las operaciones de la construcción de la primera celda. Después de que se cambia de área de trabajo ya no es necesario el construir nuevos canales, ya que los usados para los drenajes interiores, al cambiar el área de trabajo quedan inservibles para ese fin, y llenándolos de grava se acondicionan para drenar lixiviado, y se continúa el trabajo sobre de ellos.

Hay que tomar en cuenta que el sitio donde se llevará a cabo el relleno deberá tener una pendiente mínima como drenaje natural del sitio y las operaciones si iniciarán en la parte baja, para terminarse en la parte alta del relleno.

El agua de escurrimiento ya controlada ya sea fuera o dentro del relleno, así como la del sitio terminado, deberá ser - colocada en drenajes naturales o artificiales con el fin de no - provocar ningún daño a las propiedades vecinas.

Ahora, el lixiviado colectado en cárcamos deberá ser -
tratado en una planta construída para tal fin o almacenarlos para
que en tiempo en que la evaporación es mayor que la precipitación,
sea bombeado y regado en la superficie del relleno sanitario.

6 PROTECCION DEL AGUA SUBTERRANEA

En la actualidad del agua subterránea es la fuente de - agua potable más económica que existe en el país, por lo tanto es quizás el valioso tesoro a cuidar para no alterar en forma negativa sus características físicas, químicas y bacteriológicas, con el - producto de los contaminantes emanados de un relleno sanitario mal dirigido y mal operado.

Por lo anterior la protección del agua subterránea se hace necesaria y obligatoria en cualquier relleno sanitario. Esta protección puede ser llevada a cabo por dos métodos, uno natural y el otro artificial.

6.1. METODOS NATURALES

Los métodos naturales consisten en aprovechar las condiciones locales del suelo del sitio de tal manera que sus características físico-químicas eviten de una manera afectiva la contaminación del agua subterránea por el lixiviado que se generará en el relleno sanitario. En el Capítulo 3.7 se habla ampliamente de los análisis necesarios para determinar el uso del suelo natural como medio protector de las aguas subterráneas.

6.2. METODOS ARTIFICIALES

En cambio los métodos artificiales consisten en colo-

car materiales naturales o artificiales con el fin de evitar la entrada de material contaminante en los mantos freáticos.

En el caso de usar materiales naturales usualmente arcillas compactadas, el método consiste en colocar una capa impermeable formada con arcillas compactadas y de espesores que varían de 20 a 60 centímetros dependiendo de las características del lixiviado a esperar y de la localización de los mantos acuíferos.

También es de uso común cuando el nivel de aguas freáticas es muy alto, el uso de una zanja perimetral de 30 a 60 cms. de ancho llena con arcilla compactada o en los frentes del terreno donde pasa el agua subterránea.

Ultimamente se ha generalizado el uso de materiales sintéticos para evitar la contaminación del agua subterránea. Estos materiales son hechos de hule sintético, polietileno o cloruro de polivinilo (PVC).

Estas membranas hechas de material sintético deben ser colocadas con mucho cuidado y bajo una severa supervisión ya que en las pegajones deberán resultar impermeables. Al ser colocadas se deberán evitar las perforaciones. Este tipo de material debe ser sentado sobre una base regularmente de arena nivelada y en la parte superior otra del mismo material.

También el uso de impermeabilizaciones de asfalto han tenido cierta aceptación en la base de los rellenos sanitarios en Estados Unidos de Norte América, los cuales han logrado la protección deseada de los mantos acuíferos.

7. DISEÑO DE LA INTERFASE RELLENO SANITARIO-NIVEL DE AGUAS FREATICAS

7.1. CALCULO DE LA INTERFASE.

El primero y quizá uno de los más importantes elementos en el proceso del diseño de un relleno sanitario, es el cálculo de la interfase entre la base del relleno sanitario y el nivel de aguas freáticas.

Con esta información se determina el espesor de suelo - necesario para renovar el lixiviado que pudiera infiltrarse en el suelo.

El diseño de la interfase está íntimamente ligado con el lixiviado producido y con los principales mecanismos de renovación, los cuales en seguida se enumeran y describen:

- 7.1.1. Filtración.
- 7.1.2. Absorción
- 7.1.3. Adsorción
- 7.1.4. Precipitación Química
- 7.1.5. Acción Bacteriológica

7.1.1

FILTRACION

Este mecanismo describe la retención física, por el suelo de las partículas suspendidas que el lixiviado contiene. En este caso la capa de suelo que existe entre la base del relleno sanitario y el nivel de aguas freáticas simplemente actúa como un filtro natural.

Los sólidos retenidos de esta manera, los cuales son de naturaleza orgánica e inorgánica, los primeros son atacados y convertidos en otros productos más simples por la acción de la población de microorganismos existentes en el suelo. Los inorgánicos son retenidos y en algunos casos cambian sus características por acción química. La limitante que presente este mecanismo es que solo retiene partículas suspendidas de cierto tamaño, dependiendo de la porosidad del suelo.

7.1.2.

ABSORCION

Este mecanismo funciona reteniendo la humedad y varios elementos contenidos en el lixiviado, el tiempo suficiente para que un proceso químico y bacteriológico se presente. El problema es que el suelo necesita de la presencia de productos químicos y los microorganismos necesarios para que efectúen la reacción con los elementos contenidos en el lixiviado, de otra -

manera no se lleva a cabo su degradación, o conversión química.

7.1.3. ADSORCION

La adsorción es el mecanismo que ocurre cuando una molécula cargada (llamada ión) del lixiviado pasa sobre una partícula de suelo que contiene una carga contraria, a la cual se adhiere.

En la renovación del lixiviado, la adsorción juega un papel muy importante, ya que un suelo teniendo una buena característica de intercambio catiónico, tiene un gran potencial de retención de los contaminantes, en el lixiviado.

7.1.4. PRECIPITACION QUIMICA

La renovación por este mecanismo es altamente dependiente del potencial de hidrógeno (pH) del suelo, ya que entre más alto su valor, mayor va a ser la tendencia de que la precipitación ocurra y los procesos bacteriológicos entren en acción.

Básicamente la acción bacteriológica actúa acompañada de los mecanismos antes descritos, cuando se presenta material orgánico.

De acuerdo a lo dicho anteriormente, el mecanismo que principalmente realiza la renovación del lixiviado es el de adsorción; entonces las principales características que se tomarán en cuenta son la capacidad de intercambio catiónico del suelo y del lixiviado, y la densidad del suelo.

A continuación se realizará un ejemplo de como determinar el espesor necesario entre la base del relleno sanitario y el nivel de aguas freáticas. Es importante hacer notar que este ejemplo es para desechos urbanos, debido a que el lixiviado que se presentará en un relleno sanitario para desechos industriales dependerán de las características del desecho a disponer, sin embargo se seguirá el mismo procedimiento cuando se conozcan las características del lixiviado que se generará. El cuadro No. presenta las características típicas del lixiviado de desechos sólidos urbanos.

Como primer paso es necesario determinar la cantidad de miliequivalentes por litro que se encuentra el lixiviado, en

seguida se presenta un ejemplo de como se determinó el cuadro -
No. III-7, en el cual se indican las características típicas del
lixiviado generado por desechos municipales y las capacidades de
intercambio catiónico.

Peso equivalente del sodio = 23
Peso en mili-equivalentes = 0.023 gr/l

En un litro de agua 0.023 gr/l de sodio puede producir
una concentración de 0.023 gr/l ó 23 mg/l.

Ahora si el lixiviado contiene 2,000 mg/l de sodio, el -
cual es igual a 2,000/23 miliequivalentes /litro o sea igual a 87
miliequivalentes/litro.

El cuadro No. III-8, indica que el total de cationes presen
tes en un litro de lixiviado expresado en miliequivalentes es igual
a 440 y la capacidad de intercambio de un suelo arenoso con poco -
contenido de arcilla es de 5.3 me/gr y una densidad del suelo de
1740 kg/m³.

De los análisis realizados, se procede a determinar la in
terfase de la base del relleno al nivel de aguas freáticas de la -
siguiente manera:

$$\frac{440 \text{ me/l}}{5.3 \text{ me}} \times 100 \text{ gr} = 831.89 \text{ gr. de suelo/l de lixiviado}$$

En otras palabras el sistema requiere 8301.89 kilogramos de suelo para renovar un metro cúbico de lixiviado y si el suelo tiene una densidad de 1740 kilogramos por metro cúbico se obtiene:

$$\frac{8\ 301.89\ \text{kg}}{1\ 740\ \text{kg/m}^3} = 4.77\ \text{m}^3\ \text{de suelo/m}^3\ \text{de lixiviado.}$$

Esto indica que si en toda la superficie se tiene un metro de lixiviado, se necesitan 4.77 metros de profundidad de suelo para renovar dicho lixiviado.

A continuación se procede a calcular el lixiviado de la siguiente forma:

$$L = P - (E + R)$$

Donde:

- L = Lixiviado (m)
- P = Precipitación media anual (mm)
- E = Evaporación media anual (mm)
- R = Agua superficial

Teniendo los siguientes datos

$$P = 2000\ \text{mm}$$

$$E = 480\ \text{mm}$$

$$R = 200\ \text{mm}$$

Tenemos que:

$$L = 2\ 000 - (1\ 320 + 200)$$

$$L = 480\ \text{mm/año}$$

$$L = 0.48\ \text{m/año}$$

Por lo cual, si no se tuviera ninguna impermeabilización en el fondo, el lixiviado necesitaría 2,29 metros de suelo para su renovación, aunado a que el lixiviado en posteriores años va a ser el mismo en forma cuantitativa, en forma cualitativa las características contaminantes irán disminuyendo a medida que pase el tiempo debido a la dilución que se presente.

7.2. CALCULO DE LA ABSORCION DE LOS DESECHOS

Considerando que el lixiviado producido por un relleno sanitario es uno de los problemas primordiales a solucionar, necesitamos conocer que cantidad de lixiviado se va a generar y cuando se presentará el mismo.

En esta sección se describe como influye la absorción de los componentes que forman los desechos sólidos en el cálculo del tiempo teórico en que se presentará el lixiviado en un relleno sanitario.

Esa absorción de los desechos es conocida como capacidad del campo del relleno sanitario y es cuando los desechos sólidos se han saturado por el agua de infiltración y se inicia la formación de lixiviado.

Para el cálculo de la absorción de los desechos se es necesario conocer las capacidades de absorción de los desechos, en las tablas NO. III-9 y III-10, se presentarán los rangos de absorción de agua de los componentes y la capacidad de absorción de los desechos sólidos. Estos datos son sólo aproximados ya que deberán realizarse para cada caso en especial los análisis necesarios ya que el contenido de humedad varía de una localidad a otra. Sin embargo para los propósitos de aproximación de capacidades de -

campo de áreas generales de relleno son adecuados.

A continuación se presentará un ejemplo de como calcular la capacidad de campo de un relleno sanitario y el tiempo en que se presentará lixiviado teóricamente.

De la tabla No. III-9 se puede concluir que todos los componentes absorben un promedio de 109 kg. de agua por 100 kg. de desechos sólidos o también puede ser expresado como 0.109 m^3 de agua por 100 kg. de desechos por lo que con los siguientes datos, podremos elaborar el ejemplo:

AREA = 5 Hectáreas = $50,000 \text{ m}^2$
PROFUNDIDAD DEL RELLENO = 6 Mts.
DENSIDAD DEL RELLENO = 550 kg/m^3
SUPONIENDO QUE SE PRODUCE
RA DE LIXIVIADO = 0.62 m/año

AREA X (m^2)	PROFUNDIDAD DEL RELLENO (m^2)	X	DENSIDAD EN EL RELLENO (kg/m^3)	= PESO TOTAL
50,000 X	6.0	X	550	= 165,000.000 kg.

$$\frac{165,000,000 \text{ kg} \times 0.109 \text{ m}^3}{100 \text{ kg.}} = 179,850 \text{ m}^3$$

Sabiendo que la producción de lixiviado será de 0.32 m/año y teniendo un área de 50,000 m², el lixiviado total por año será de: $0,32 \text{ m/año} \times 50,000 \text{ m}^2 = 16,000 \text{ m}^3/\text{año}$

Conociendo la capacidad de absorción y la cantidad de agua que entrará en el relleno sanitario, se calcula la capacidad de campo del relleno sanitario:

$$\frac{179,850 \text{ m}^3}{16,000 \text{ m}^3/\text{año}} = 11.24 \text{ años} \\ \text{ó 11 años y 88 días}$$

Del ejemplo anterior se desprende que teóricamente se producirá lixiviado hasta aproximadamente 11 años después de terminado el relleno.

Debe ser notado que hay cuando menos dos factores adicionales los cuales actúan en contra de la lixiviación, que actualmente ocurre en este número de años; ellos pueden ser considerados como factores de seguridad en este contexto y son los siguientes:

1. Humedad perdida debida a la acción bioquímica
2. La capacidad de absorción adicional del material de cubierta.

Como es notado en anteriores capítulos el agua es requerida en muchas actividades químicas y bacteriológicas, las cuales, ocurren en el curso de la degradación natural de los desechos -

contenidos en el relleno; esta humedad es proporcionada por infiltración y usada en el proceso de la degradación.

El material de la cubierta diaria también tiene una - cierta capacidad de absorción lo cual va a aumentar el valor estimado de la capacidad del sitio. Si es conocida la capacidad de absorción de ese suelo puede ser incluido en los cálculos anteriores. Sin embargo, los cambios diarios en la humedad el suelo son extremadamente variables. Es quizás más apropiado dejar afuera esta consideración asumiendo que ofrece un cierto factor de seguridad.

7.3.

CALCULO Y CARACTERISTICAS DEL LIXIVIADO

7.3.1. CALCULO

El agua que se ha infiltrado en el relleno y que se percoló por el estrato de desechos sólidos es conocida con el nombre de lixiviado. Este lixiviado es de características altamente contaminantes por lo que es necesario su debido control y tratamiento.

Así, un primer objetivo de un relleno sanitario es el de minimizar la cantidad de agua que se infiltra a través del material de cubierta y se percola en los desechos y así minimizar la cantidad de lixiviado que se pudiera generar.

Sin embargo es inevitable que algo del agua de lluvia se quede en los desechos cuando se esta llevando a cabo la operación de un relleno, lo cual se debe estudiar que es lo que sucede con dicha agua.

Inicialmente ésta agua es absorbida por el material componente de los desechos sólidos tal como papel, cartón, trapo etc. esta capacidad de absorción es alcanzada, cuando una percolación adicional tiene efecto de desplazar la misma cantidad de humedad del relleno. Esta humedad es lo que nosotros conocemos como lixiviado, Este lixiviado continúa su movimiento descendente a través de las otras capas del relleno hasta que se inicia la percolación

en el suelo base.

Debe quedar claro que no siempre el lixiviado generado - será significativo, esto dependerá de la precipitación que se presente en cada zona y del material de desecho que se este disponiendo y en mucho también de la eficiencia de la operación y de la calidad del material de cubierta.

La figura No. III-11 presenta un balance del agua que interviene en un relleno sanitario y del cual puede ser calculado el lixiviado que se pudiera generar.

7.3.2.

CARACTERISTICAS

Muchas investigaciones tentativas han sido realizadas en el mundo con el fin de caracterizar el lixiviado. En casi todos los casos el lixiviado es recolectado directamente desde la base de un relleno sanitario o en un modelo simulado, en todos los casos los resultados de los análisis han sido muy variados.

Los resultados de estas investigaciones han llegado a la conclusión de que las características del lixiviado van estrechamente relacionados con los componentes de los desechos dispuestos. Así que para cada localidad es muy probable que se encuentren resultados muy diferentes de las características de un lixiviado - producido.

Casi todos los resultados han contenido altos porcentajes de los siguientes constituyentes: Hierro (férrico y ferroso), Cloruros, nitrógeno orgánico, fosfatos, sulfatos, dureza, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) demanda química de oxígeno (DQO) y rastros de metales pesados, en el cuadro No. III-12 se presentan los resultados de varios análisis de lixiviados realizados en Estados Unidos de Norte América.

Ahora el principal método de control del lixiviado es sin duda la limitación de la infiltración de agua de lluvia en el relleno, mediante un buen diseño de los drenajes y una selección adecuada del material de cubierta. También como factor de seguridad la capacidad de renovación natural del suelo base del relleno sanitario.

Con los métodos anteriores se minimizaría la posibilidad de contaminación de los mantos acuíferos por el lixiviado generado en un relleno sanitario.

8. CONTROL DE GASES

8.1. TIPO DE GASES

Los desechos sólidos depositados en un relleno sanitario son degradados al través del tiempo mediante actividades químicas y biológicas para producir productos líquidos, sólidos y gaseosos.

Algunos factores que afectan el grado de degradación son los siguientes:

- Carácter heterogeneo de los desechos.
- Las propiedades químicas, físicas y bacteriológicas de los desechos.
- La disponibilidad de oxígeno y humedad dentro del relleno.
- La temperatura
- La población microbiana
- Tipo de síntesis

Regularmente la actividad biológica en un relleno, sigue un patron definido.

Así los desechos sólidos inicialmente son degradados por organismos aerobios hasta que casi todo el oxígeno es utilizado; después predominan los microorganismos facultativos y

los anaeróbicos.

En la etapa aerobia, los productos característicos son dióxido de carbono, agua y nitratos. Y los productos típicos de la descomposición anaeróbica son : Metano, dióxido de carbono, agua, ácidos orgánicos, nitrógeno, amoníaco, hierro, manganeso e hidrógeno.

Sin embargo los gases que se producen en mayor cantidad en un relleno son: El metano y el dióxido de carbono. En la tabla No. III-13 , se presentan los porcentajes en volumen de los principales gases al través del tiempo.

Estos gases que se producen como resultado de la degradación en un relleno sanitario son importantes de considerar cuando se evalúan los efectos en el medio ambiente, ya que el metano puede explotar bajo ciertas condiciones y el dióxido de carbono puede disolverse y formar ácido carbónico y el ácido sulfúrico presenta condiciones agresivas de olor hacia la población.

8.2 METODOS DE CONTROL

Una parte importante en el diseño de un relleno sanitario es el control del movimiento de los gases de descomposición y principalmente el metano y el dióxido del carbono.

Existen dos métodos principales para su control, el primero mediante materiales permeables y el segundo con la utilización de materiales impermeables. Los cuales son descritos en los siguientes párrafos:

8.2.1. METODOS PERMEABLES

El movimiento lateral de los gases puede ser controlado con el uso de materiales que bajo cualquier circunstancia son más permeables que el suelo circunvecino.

Ventilas de grava o zanjas rellenas de grava han sido empleadas con bastante éxito, figura No. III-14. Preferentemente, las zanjas deben ser un poco más profundas que el relleno para asegurar que con ellas se intercepte todo el flujo de gas lateral. La superficie de las zanjas de grava deben estar libres de vegetación o tierra, ya que estos retienen humedad y dificultan la ventilación.

Otro método permeable consiste en la colocación de

tubos perforados en la relativamente impermeable cubierta final, fig. No. III-15 teniendo en los laterales material impermeable.

Por medio de este método es posible que se aproveche el gas producido. Un método más burdo es la insertación de tubos perforados en el relleno sanitario y que sobresalgan al menos 1.50 metros del nivel de piso final del relleno.

8.2.2 METODOS IMPERMEABLES

El movimiento de los gases a través de los suelos puede ser controlado con el uso de materiales que son más impermeables que los utilizados en la cubierta final.

El tipo más común y posiblemente el más práctico; es la utilización de arcilla compactada. Esta arcilla puede ser colocada en la base y laterales del relleno o en zanjas en los laterales del relleno.

En el caso de la colocación de este tipo de barreras en la base del relleno ésta deberá ser construida a medida de que avance el relleno, ya que si es expuesta en forma prolongada al aire, puede secarse y poderse agrietar.

También en la actualidad se ha extendido el uso de material sintético, como protector del agua subterránea y como -

barrera para el control de gases.

8.3. APROVECHAMIENTO

Los gases producto de la biodegradación de la materia orgánica presente en los desechos sólidos dispuestos en un relleno sanitario, son factibles de aprovecharse por medio de técnicas modernas.

El caso más extraordinario de recuperación y aprovechamiento de gas metano generado en un relleno sanitario es el que se lleva a cabo en el Municipio de los Angeles California U.S. A., denominado Relleno Sanitario de Palos Verdes, el cual en términos generales trabaja de la siguiente manera:

El gas metano contaminado formado por la descomposición del material orgánico presente en el relleno, es recolectado por una serie de pozos y tuberías; el gas bruto contiene aproximadamente 55 por ciento de metano, 41 por ciento de dióxido de carbono, y 4 por ciento de agua, éste gas bruto es extraído de los pozos por medio de bombas de vacío y entra a un sistema de compresores donde se utiliza un proceso patentado de mallas moleculares donde se extrae el agua, los hidrocarburos y el dióxido de carbono.

En la fig. No.III-16, se presenta el diagrama de flujo del proceso y su descripción.

El gas metano ya purificado (99% puro) es enviado por medio de tubería a una compañía de gas quien lo mezcla con gas natural y surte a 2,000 casas de la Península de palos Verdes, para su aprovechamiento en usos domésticos.

9.

VIDA UTIL

9.1.

VOLUMEN DE DESECHOS

Parte importante del diseño de un relleno sanitario es conocer la vida útil del mismo, para ello es fundamental conocer el volumen de los desechos que se van a disponer, a la vez conociendo esa información se podrá calcular el material necesario para su cubierta y así se facilitará el cálculo de la vida útil del mismo.

Mediante la siguiente fórmula se podrá generalizar el procedimiento del cálculo del volumen de desechos que vamos a disponer:

$$V = \frac{P \cdot X \cdot G + O}{D_r}$$

Donde:

V = Volumen de desechos a disponer (m^3)

P = Población (Hab)

G = Generación (kg/hab/día)

O = Otros desechos (kg)

D_r = Densidad de los desechos ya compactados
(kg/m^3)

A continuación desarrollaremos un ejemplo para -
conocer la mecánica del uso de la fórmula anterior:

Población = 500 000 hab.

Generación = 0.500 kg/hab/día

Otros = 50 000 kg

Densidad = 550 kg/m³

Entonces utilizando la fórmula tendremos:

$$V = \frac{500\ 000 \times 0.500 \times 50\ 000}{550}$$

$$V = \frac{300\ 000}{550}$$

$$V = 545.45\ m^3$$

9.2 VOLUMENES DE CORTE Y RELLENO

A partir de un plano topográfico de curvas de -
nivel, es posible obtener secciones de pérfiles topográficos don
de se podrá establecer la línea de máxima excavacion (LME), y la
pendiente final del sitio, obteniendose con eso la facilidad de
calcular el material de cubierta disponible en el sitio, así como
el volumen de desechos que podrá aceptar el relleno y así calcu-
lar la vida útil del sitio.

Existen dos métodos simples para elaborar los -
cálculos mencionados anteriormente:

- 1.- Planimétrico
- 2.- Manual Uso Papel Milimétrico

1.- Planimétrico:

Mediante el uso de un planímetro se podrán obtener perfectamente las áreas de cada una de las secciones, siempre y cuando el instrumento esté propiamente calibrado y sea manejado con cuidado.

Con estas áreas será posible realizar los cálculos para determinar después la vida útil del sitio.

2.- Manual Uso Papel Milimétrico

Este método, más elaborado que el anterior consiste en trazar las secciones en papel milimétrico con el objeto de realizar en él los trazos de como vá a quedar la base y el final del relleno sanitario.

Así por método manual se puede contar el número de cuadros dentro de cada línea y poder calcular las áreas en cuestión

En el plano No. III-17, se presentan las curvas de nivel de un terreno dado y en los planos No. III-18, y No. III-19, son presentadas algunas de las secciones longitudinales y transversales del sitio.

9.3. CALCULO DE LA VIDA UTIL

Con la información mencionada en las Tablas No.- III-20 y No. III-21, y los datos, es posible calcular la vida útil de un sitio mediante la siguiente fórmula:

$$L = \frac{V}{CF \times H + DO \times CD}$$

Donde:

- L = Vida útil del relleno (años)
- V= Volumen disponible en el sitio (m³)
- CF= Cubierta final por hectárea (m³)
- H = Número de hectáreas
- DO = Días de operación al año
- CD = Cubierta diaria (m³)

Datos:

- Toneladas diarias = 500 ton.
- Terreno = 10 Ha

Altura de la Celda = 3.00 mts. (dos celdas 6.00 m)

Días de Operación = 300 días al año

Sustituyendo en nuestra fórmula:

$$L = \frac{600,000}{6,000 \times 10 + 300 \times (60.60 \times 2)}$$

$$L = \frac{600,000}{60,000 + 36,360}$$

$$L = \frac{600,000}{96,360}$$

$$L = 6.23 \text{ años}$$

Algunos diseñadores olvidan frecuentemente la importancia que reviste el buen diseño del uso que va a tener el relleno sanitario al finalizar las operaciones. Este diseño representa la llave que puede abrir la aceptación pública a una actividad de ésta naturaleza.

El diseño del uso final del sitio deberá contener y presentar en un plano las actividades que podrán desarrollarse sobre él mismo. Regularmente los rellenos sanitarios terminados sirven como áreas recreativas que incluyen canchas de foot-ball, golf, parques de base-ball, canchas de tennis y en algunas actividades de pista y campo.

Mucho se ha dicho sobre si se puede o no, construir sobre un relleno sanitario. Todo es posible en este mundo, solo que hasta ahora no es posible económicamente hablando, levantar edificaciones cimentadas sobre un relleno sanitario. No así las construcciones livianas prefabricadas.

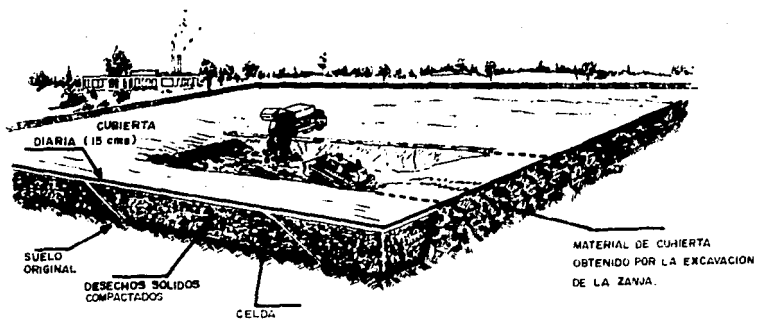


FIGURA N° III-1
METODO DE ZANJA

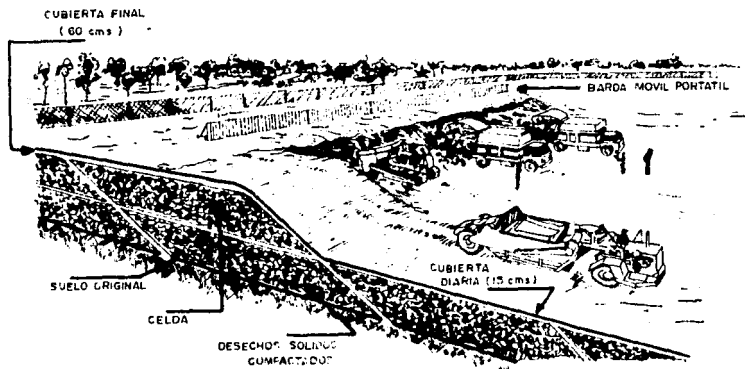


FIGURA N° III-2
METODO DE AREA

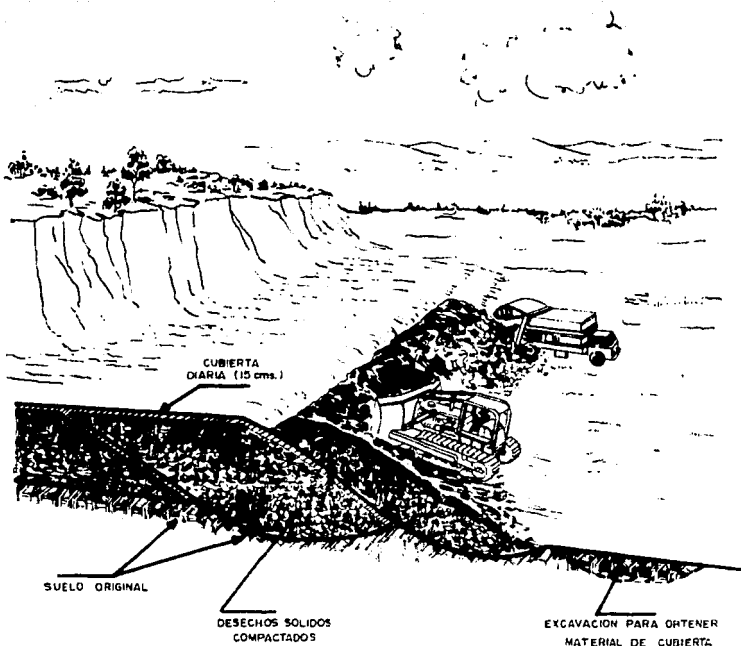


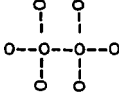



FIGURA Nº III- 3

METODO COMBINADO

T A B L A No. III-4

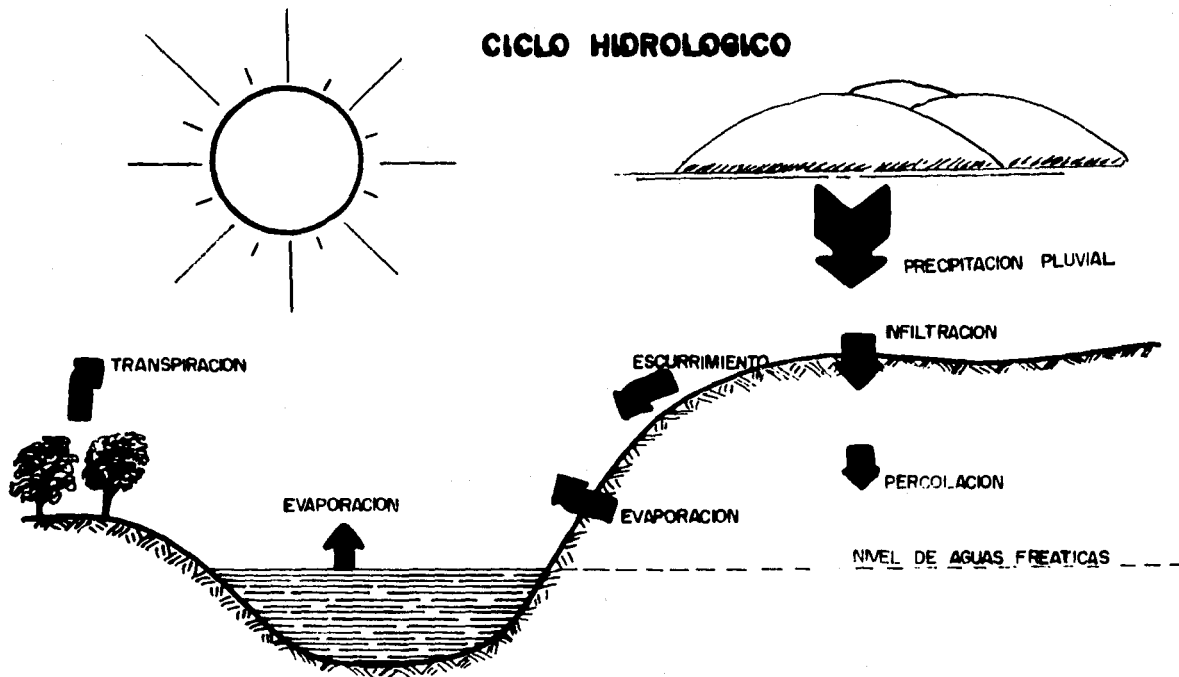
REQUERIMIENTOS DE POZOS DE INVESTIGACION

AREA DEL SITIO (Has)	NUMERO APROXIMADO	CONFIGURACION GENERAL
Hasta 5	3	
5-20	5-6	
20-40	8-9	
Más de 40	11-15	

FUENTE: NOBLE GEORGE, SANITARY LANAPILL DESIGN HANDBOUK.

FIGURA Nº III-5

CICLO HIDROLOGICO



A PARTIR DE

ESTA PAGINA

**FALLA
DE
ORIGEN**

TABLA Nº III - 6
SISTEMA UNIFICADO
CLASIFICACION DE SUELOS Y CARACTERISTICAS PERTINENTES PARA UTILIZARLOS EN RELLENOS SANITARIOS

DIVISIONES MAYORES	SIMBOLOGIA			NOMBRE	Evaluación como base cuando no sean sujetos a análisis	Capacidad de compactación	Comprobabilidad y espesura	Características de drenaje*	Valores para terraplenos	Permeabilidad del suelo	Características de compactación	Standard AASHTO Unificada M-1974 de Puro Duro en %/grm.	Requisitos para control de la infiltración		
	SIJLAS	Presentación	Color												
GRANULOMETRIA DE SUELOS CONTINUA	GRAVAS Y ARENAS GRANUDOSAS	GW		ROJO	Gravas bien graduadas o mezcla de arena y arena, poco o nada de finos.	Excelente	Bueno	Nada a muy escaso	Casi nada	Excelente	Muy estable, talud permisible de diques y presas.	K > 10-3	Bueno, tractor, tractor de neumáticos o de oruga.	200 - 2100	Control necesario
		GP		ROJO	Gravas pobremente graduadas o mezcla de arena y arena, poco o nada de finos.	Bufo a excelente	Pobre a regular	Nada a muy escaso	Casi nada	Excelente	Razonablemente estable, talud permisible de diques y presas.	K > 10-3	Bueno, tractor, tractor de neumáticos o de oruga.	100 - 200	Control necesario
		GM		AMARILLO	Gravas finas, mezcla de arena-arena-mediana.	Bueno a excelente	Regular a bueno	Escaso a medio	Muy escaso	Regular a pobre, pobre a prácticamente impermeable.	Razonablemente estable, no particularmente adecuado para taludes pero puede ser usado para estructuras impermeables y cubiertas.	K = 10-3 a 10-4	Bueno, con control estricto, tractor de neumáticos, rodillos para de cubrir.	100 - 2100	Con panel o mágnate
		GC		AMARILLO	Gravas arcillosas, mezcla de arena-arena-arcilla.	Bueno	Pobre	Escaso a medio	Escaso	Pobre a prácticamente impermeable.	Razonablemente estable, puede ser usado como cubierta impermeable.	K = 10-4 a 10-5	Regular, con control estricto, tractor de neumáticos, rodillos para de cubrir.	100 - 2000	Ninguno
	ARENAS Y ARENAS GRANUDAS	SW		ROJO	Areñas bien graduadas o arenas gruesas, poco o nada de finos.	Bueno	Pobre	Nada a muy escaso	Escaso	Excelente	Muy estable, las secciones permisionables de la pendiente necesitan protección.	K > 10-3	Bueno, con tractor.	100 - 2000	Cubiertas aguas arriba y zona de drenaje.
		SP		ROJO	Areñas pobremente graduadas o arenas gruesas, poco o nada de finos.	Regular a bueno	Pobre no utilizable	Nada a muy escaso	Casi nada	Excelente	Razonablemente estable, puede usarse en secciones de diques con protección superior.	K > 10-3	Bueno, con tractor.	100 - 2000	Cubiertas aguas arriba y zona de drenaje.
		SM		AMARILLO	Areñas finas, mezcla de arena y arena-mediana.	Bueno	Pobre	Escaso a alto	Muy escaso	Regular a pobre, pobre a prácticamente impermeable.	Razonablemente estable, no particularmente adecuado para taludes pero puede ser usado para estructuras impermeables y cubiertas.	K = 10-3 a 10-4	Bueno, con control estricto, tractor de neumáticos, rodillos para de cubrir.	100 - 2000	Cubiertas aguas arriba y zona de drenaje.
		SC		AMARILLO	Areñas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.	Regular a bueno	No utilizable	Escaso a alto	Escaso a medio	Pobre a prácticamente impermeable.	Razonablemente estable, puede ser usado como cubierta impermeable.	K = 10-4 a 10-5	Regular, con control estricto, tractor de neumáticos, rodillos para de cubrir.	100 - 2000	Ninguno
GRANULOMETRIA DE SUELOS FINOS	SEDIMENTOS Y ARCILLAS LL < 60	ML		VERDE	Sedimentos inorgánicos y arenas muy finas de descomposición de roca (argas de arena fina o arcillas) o sedimentos arcillosos con plasticidad despreciable.	Regular a pobre	No utilizable	Medio a muy alto	Escaso a medio	Regular a pobre	Baja estabilidad, puede ser usado en taludes, puede ser control.	K = 10-4 a 10-5	Bueno a malo, control estricto, tractor de neumáticos o rodillos para de cubrir.	100 - 1000	Con panel o mágnate
		CL		VERDE	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas estratificadas, arcillas arenosas, sedimentos de arcilla, arcillas margas.	Regular a pobre	No utilizable	Medio a alto	Medio	Prácticamente impermeable	Estable, secciones impermeables y cubiertas.	K = 10-4 a 10-5	Regular a bueno, tractor de neumáticos o rodillos para de cubrir.	100 - 1000	Ninguno
		OL		VERDE	Sedimentos orgánicos y sedimentos arcillosos orgánicos de baja plasticidad.	Pobre	No utilizable	Medio a alto	Medio a alto	Pobre	No adecuado para terraplenos.	K = 10-4 a 10-5	Regular a malo, rodillos para de cubrir.	100 - 1000	Ninguno
	SEDIMENTOS Y ARCILLAS LL > 60	MH		AZUL	Sedimentos inorgánicos arenas finas con nucleos o diatomáceos o suelos fangosos, sedimentos silíceos.	Pobre	No utilizable	Medio a muy alto	Alto	Regular a pobre	Baja estabilidad, secciones de presa hidráulica no permitidas en la construcción de represas.	K = 10-4 a 10-5	Mala muy mala, rodillos para de cubrir.	100 - 1000	Ninguno
		CH		AZUL	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.	Pobre muy pobre	No utilizable	Medio	Alto	Prácticamente impermeable	Escasa estabilidad, con protección superior, secciones de diques y cubiertas.	K = 10-4 a 10-5	Regular a malo, rodillos para de cubrir.	100 - 1000	Ninguno
		UH		AZUL	Arcillas orgánicas de mediana o alta plasticidad, sedimentos orgánicos.	Pobre muy pobre	No utilizable	Medio	Alto	Prácticamente impermeable	No adecuado para terraplenos.	K = 10-4 a 10-5	Mala muy mala, rodillos para de cubrir.	100 - 1000	Ninguno
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	PT		Naranja	Turba y otros suelos altamente orgánicos.	No utilizable	No utilizable		Muy alto			NO RECOMENDADOS PARA LA CONSTRUCCION DEL RELLENO SANITARIO.				

* Los valores son dados como guía, solamente el dueño debe ser basado en el resultado de las pruebas.

• El equipo listado usualmente producirá la densidad de campo de un terreno razonable de basadas, cuando las condiciones de humedad y el espesor de la cubierta sean previamente controladas.

••• Suelo compactado con contenido de humedad óptimo para Standard AASHTO (Proctor Standard) valores compacta.

FUENTE: Adaptado de Unified Soil Classification System and U.S. Army Corps of Engineers, Engineering Manual, Part XII, Chapter 2, Appendix A, Sanitary Landfill Design Manual, George Noble, Editorial Technical Publishing Co., Inc. And Sanitary Landfill Design And Operation U.S. Environmental Protection Agency, 1972.

CUADRO No. III-7

CARACTERISTICAS TIPICAS DEL LIXIVIADO EN DESECHOS SOLIDOS
URBANOS *

LIXIVIADO	COMPONENTE	mg/l
Dureza	Ca CO ₃	8,000
Alcalinidad	Ca CO ₃	9,500
Calcio	Ca	2,500
Magnesio	Mg	500
Sodio	Na	2,000
Potasio	K	2,000
Fierro (férrico)	Fe	1,500
Fierro (ferroso)	Fe	500
Cloro	Cl	2,500
Sulfato	SO ₄	750
Fosfato	PO ₄	100
Nitrógeno amoniacal	N-NH ₄	500
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO	30,000
Zinc	Zn	150
Niquel	Ni	100

* SANITARY LANDFILL DESIGN AND OPERATION ' D.R. BRUNNER&D.J.
KELLER, U.S.E P A 1971.

CUADRO No. III-8

CARACTERISTICAS TIPICAS DE LIXIVIADO Y CAPACIDADES DE INTERCAMBIO CATIONICO

LIXIVIADO	CARGA DE ION	PESO EQUIVALENTE	MILIEQUIVALENTES CATIONICOS/LITRO
DUREZA	CaCO ₃	+	---
ALCALINIDAD	CaCO ₃	+	----
CALCIO	Ca +	20.00	125
MAGNESIO	Mg ++	12.15	41
SODIO	Na +	23.00	87
POTASIO	K +	39.09	51
FIERRO (FERRICO)	Fe +++	18.62	81
FIERRO (FERROSO)	Fe ++	27.92	18
CLORO	Cl ⁻	++	--
SULFATO	SO ₄ ⁼	++	--
FOSFATO	PO ₄	++	--
NITROGENO AMONIAICAL	N-NH ₄ ⁺	17.00	29
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	DBO	+++	--
ZINC	ZN+	32.70	5
NIQUEL	Ni++	29.40	3
S U M A			440 Me/l

- + LAS CAUSAS DE DUREZA Y ALCALINIDAD SON LOS SOLIDOS DISUELTOS TOMADOS EN CUENTA EN OTRA PARTE DEL CUADRO.
- ++ ESTOS IONES CARGADOS NEGATIVAMENTE SOLO SON REMOVIDOS POR IONES CARGADOS POSITIVAMENTE EN EL SUELO, PERO COMO SON RAROS ESTOS - CASOS NO SON TOMADOS EN CUENTA.
- +++ NO ES APLICABLE POR SER PARTE ORGANICA.

TABLA No.III-9

CAPACIDAD DE ABSORCION DE LOS DESECHOS EN UN RELLENO SANITARIO

Componente	Composición Promedio (%)	Capacidad de Absorción Libras de Agua por 100 lbs. de desecho		
		Máximo	Promedio	Mínimo
Papel Periódico	7		20	
Cartón	8		14	
Papel	23	92	57	23
Hojas y Hierba	4	8	5	2
Pasto	6	6	3.5	1
Materia Orgánica	9	9	4.5	0
Trapo	2	6	4.5	3
No Absorbentes	41		0	
TOTAL	100		109	

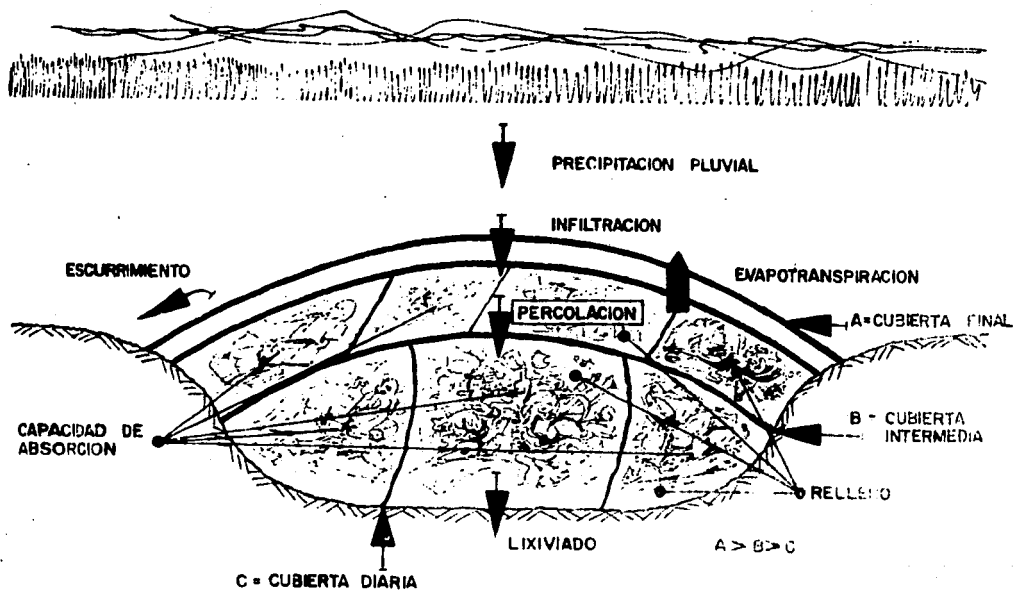
FUENTE: "DISPOSAL OF SEWAGE SLUDGE INTO A SANITARY LANDFILL"
U.S.E.P.A., 1974

TABLA No. III-10

RANGOS DE ABSORCION DE AGUA DE LOS COMPONENTES DE LOS DESECHOS SOLIDOS

COMPONENTE	% DE CAPACIDAD DE ABSORCION DE AGUA		
	MAXIMO	PROMEDIO	MINIMO
Papel Periódico		290	
Cartón	400		100
Otros Desechos	400		100
Hojas y Hierba	200		60
Pasto	100		10
Materia Orgánica	100		0
Trapo	300		100
Madera, Plástico, Vidrio, Metal, (Todos inorgánicos)		0	

FUENTE: DISPOSAL OF SEWAGE SLUDGE INTO A SANITARY LANDFILL, "U.S.E.P.A., 1974



FORMACION DE LIXIVIADO EN UN RELLENO SANITARIO

TABLA No. III-12

COMPOSICION DEL LIXIVIADO INICIAL DE DESECHOS SOLIDOS MUNICIPALES *

COMPONENTE	SITIO A		SITIO B	
	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
pH	6.0	6.5	3.7	8.5
Dureza, CaCO ₃	890	7600	200	550
Alcanilidad, CaCO ₃	730	9500		
Ca	240	2330		
Mg	64	410		
Na	85	1700	127	3800
K	28	1700		
Fe (total)	6.5	220	0.12	1640
Cloro	96	2350	47	2340
Sulfatos	84	730	20	375
Fosfatos	0.3	29	2.0	130
Nitrogeno Orgánico	2.4	465	8.0	482
Amonia	0.22	480	2.1	177
BOD	21700	30300		
COD			809	50715
Zn			0.03	129
Ni			0.15	0.81
Sólidos Suspendidos			13	26500

* COMPOSICION PROMEDIO, MG. POR LITRO DE LOS PRIMEROS 1-3LITROS DE LIXIVIADO POR PIE CUBICO DE UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DE DESECHOS SOLIDOS MUNICIPALES COMPACTADOS.

TABLA No. III-13

COMPOSICION DEL GAS PRODUCIDO EN UN RELLENO SANITARIO

Intervalo de tiempo desde que se completó la celda (meses)	Porcentaje promedio por volumen		
	N ₂	CO ₂	CH ₄
0 - 3	5.2	88	5
3 - 6	3.8	76	21
6 - 12	0.4	65	29
12 - 18	1.1	52	40
18 - 24	0.4	53	47
24 - 30	0.2	52	48
30 - 36	1.3	46	51
36 - 42	0.9	50	47
42 - 48	0.4	51	48

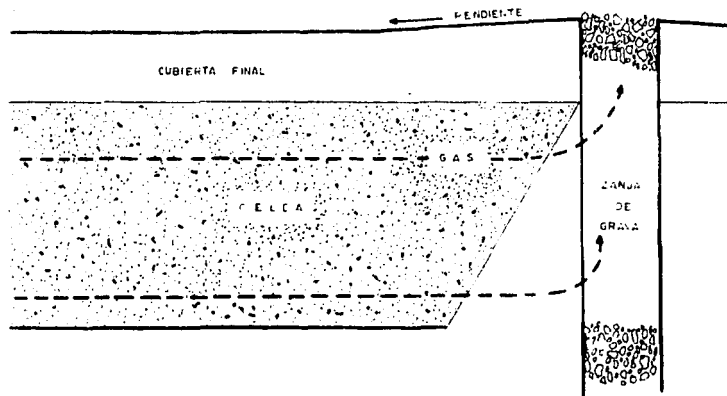
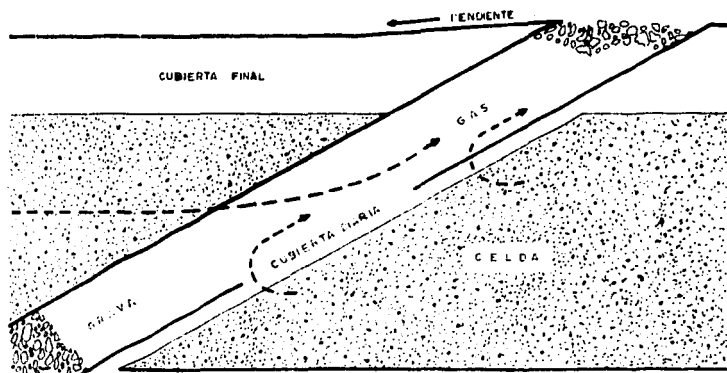


FIGURA Nº III - 14

**CONTROL DEL MOVIMIENTO DE GAS LATERAL
POR MEDIO DE VENTILACIONES ARTIFICIALES**

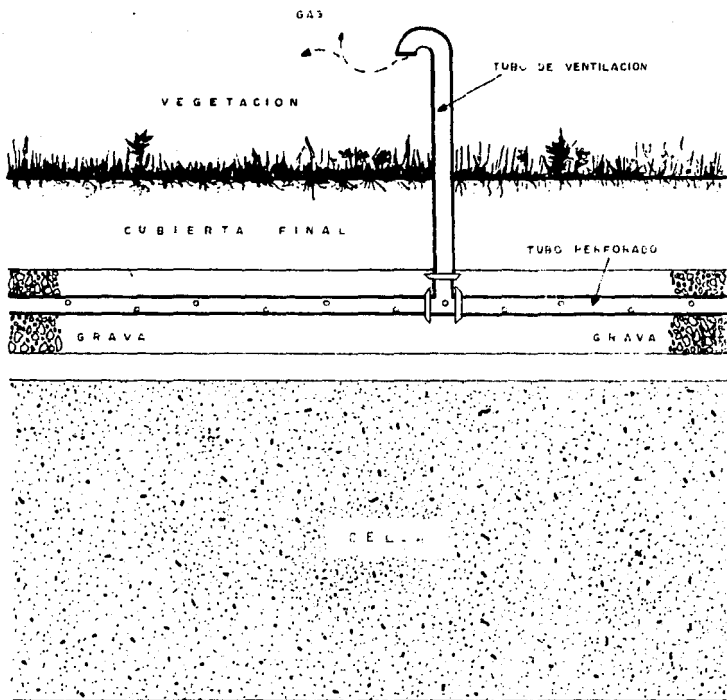
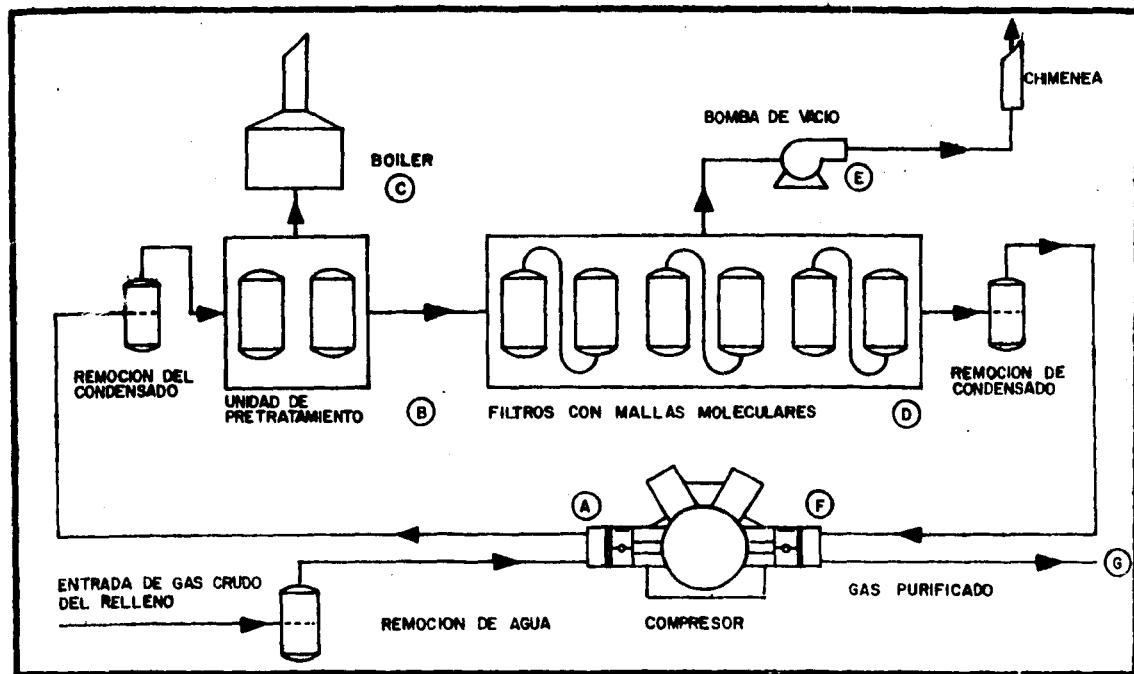


FIGURA N° III- 15
**CONTROL DEL GAS POR MEDIO
 DE SISTEMAS DE TUBERIAS**

FIGURA Nº III - 16



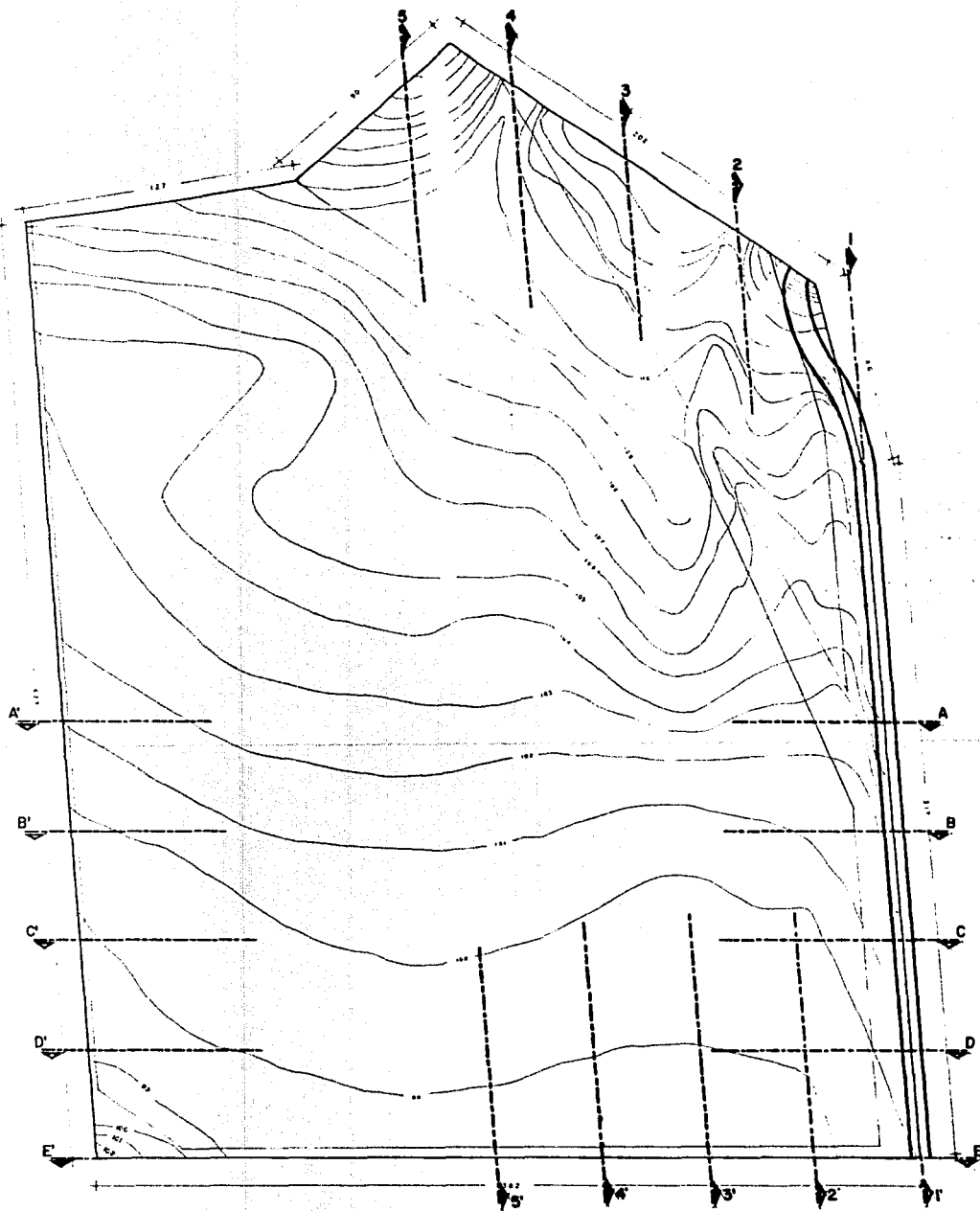
DESCRIPCION DEL PROCESO

El metano contaminado es extraído del relleno por medio de vacío (A) y enviado a través de las unidades de pretratamiento (B) para remover humedad y clor condensando traza de contaminantes. El máximo de ahorro de energía es llevado a cabo por el uso del efluente contaminado de las unidades de pre-

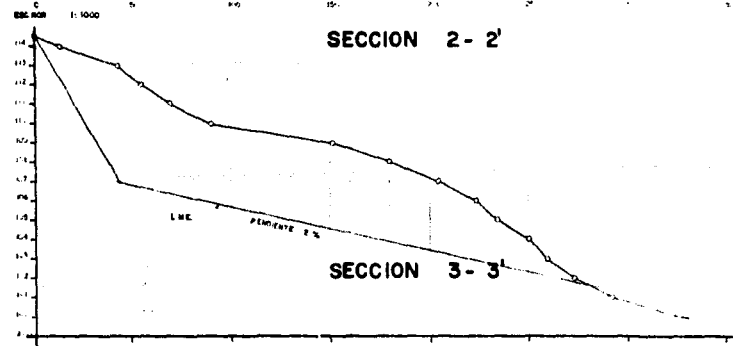
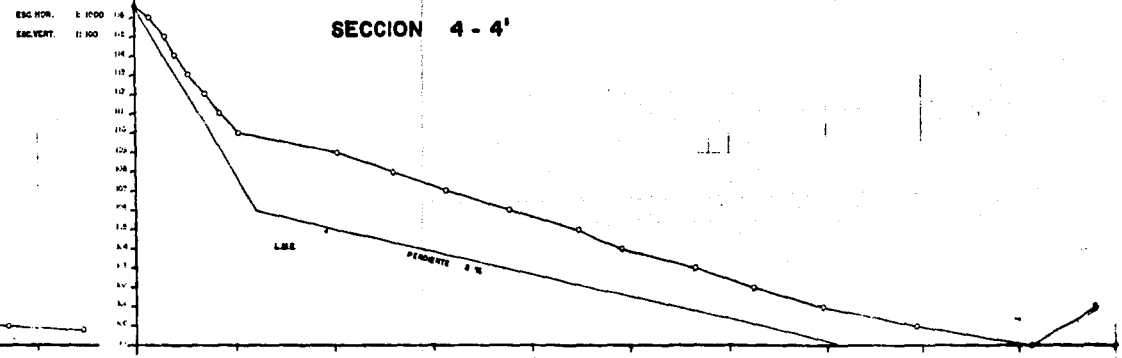
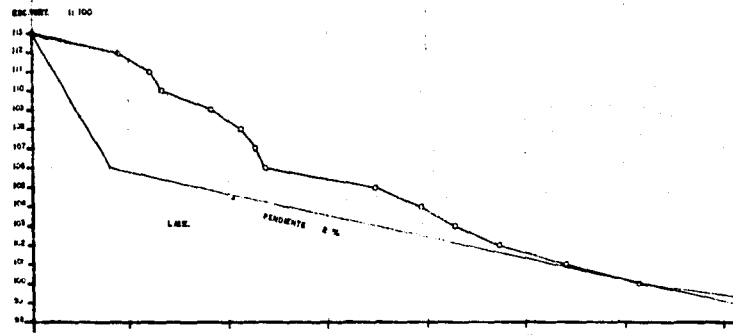
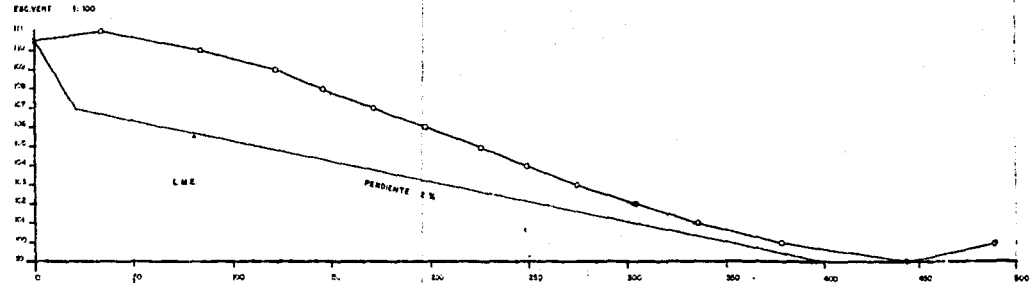
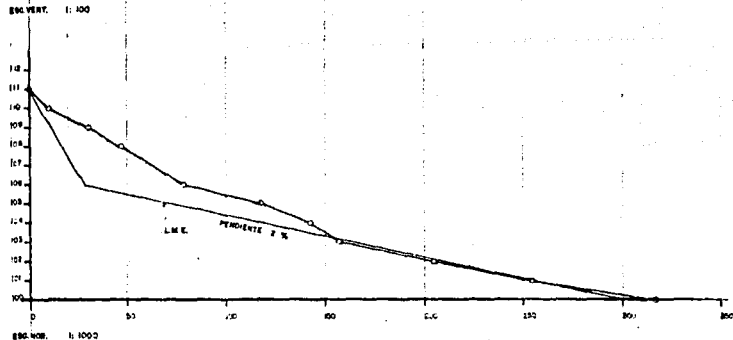
tratamiento como combustible para calentar el sistema de regeneración (C). El gas pasa de las unidades de pretratamiento a los filtros con mallas moleculares (D) las cuales selectivamente detienen el dióxido de carbono y contaminantes (E). El gas limpio y seco es comprimido a los requerimientos específicos de la línea de gas (F) para enviarlo al sistema de distribución de la compañía vendedora.

PLANO N° III-17

RELLENO SANITARIO - METODO DE AREA
CURVAS DE NIVEL

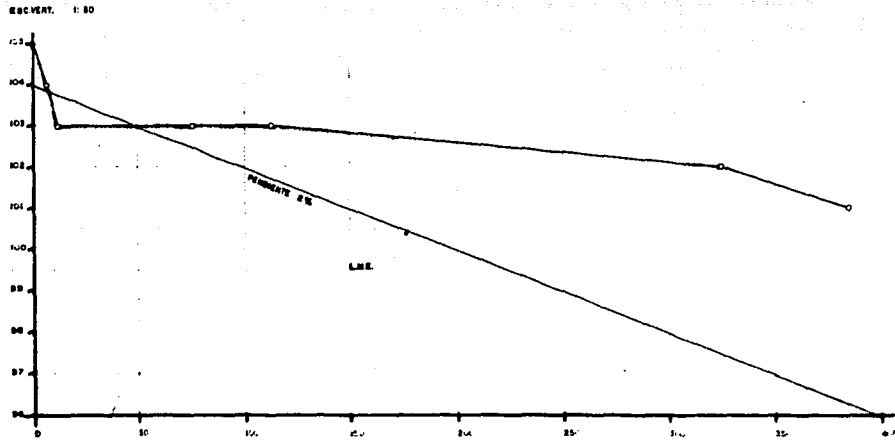


ESC. 1:1000
ACOT. mts.

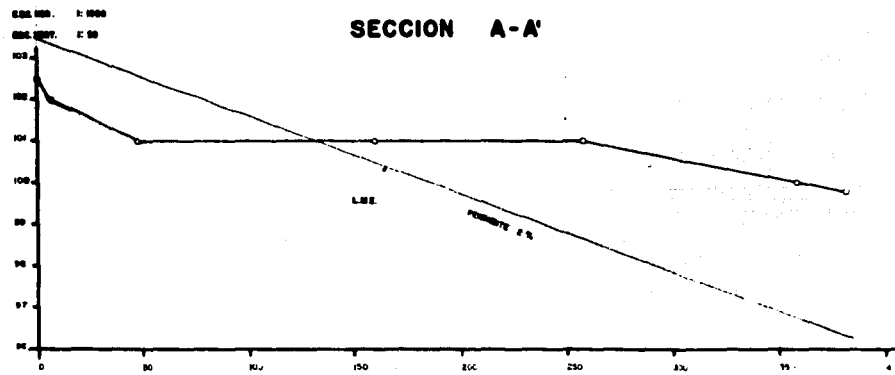


NOTA: L.M.E. = LINEA DE MAXIMA EXCAVACION

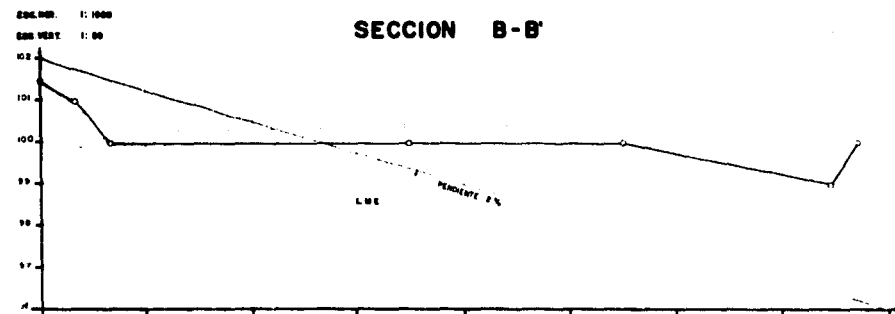
RELLENO SANITARIO - METODO DE AREA
SECCIONES LONGITUDINALES.



SECCION A-A'

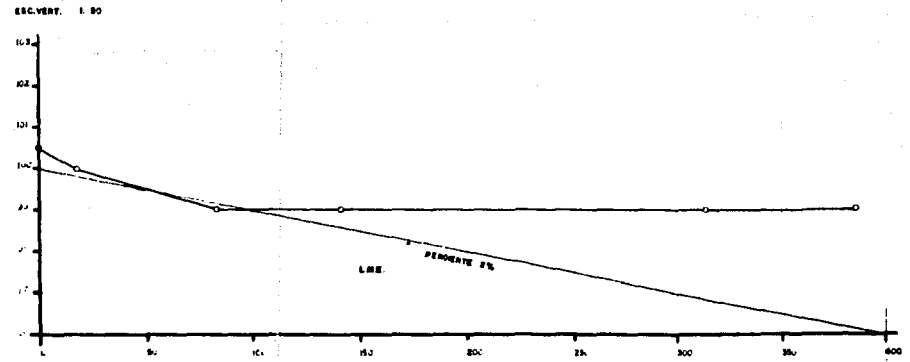


SECCION B-B'

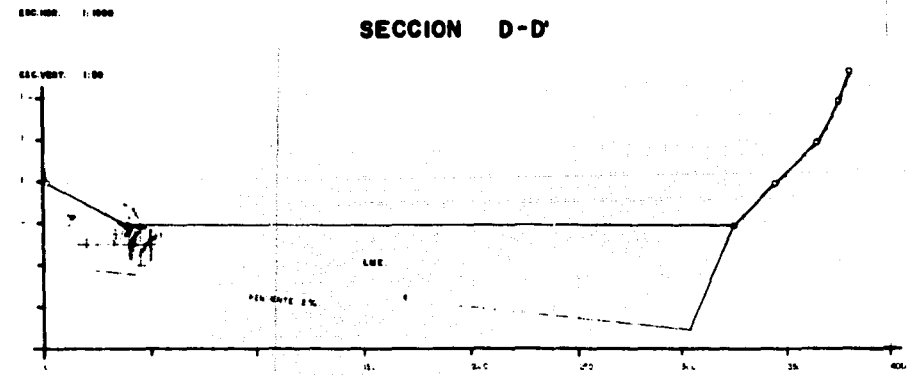


SECCION C-C'

PLANO N° III-19



SECCION D-D'



SECCION E-E'

NOTA L.M.E. = LINEA DE MAYOR ELEVACION

RELLENO SANITARIO-METODO DE AREA
SECCIONES TRANSVERSALES

TABLA No. III-20

REQUERIMIENTOS DE MATERIAL DE CUBIERTA DIARIA

(BASADOS EN UNA CUBIERTA DIARIA DE 15 CMS).

TONELADAS A DISPONER	VOLUMEN EN EL SITIO A DENSIDAD DE 550 kg/m ³	AREA TOTAL DE LA CELDA DIARIA (m ²)			VOLUMEN TOTAL DEL MATERIAL DE CUBIERTA		
		PROFUNDIDAD DE LA CELDA EN M.			PROFUNDIDAD DE LA CELDA EN M.		
		2.0	2.5	3.0	2.0	2.5	3.0
25	45.45	22.72	18.18	15.15	4.54	3.63	3.03
50	90.90	45.45	36.36	30.30	9.09	7.27	6.06
100	181.81	90.90	72.72	60.60	18.18	14.54	12.12
200	363.63	181.81	145.45	121.21	36.36	29.09	24.24
500	909.09	454.54	363.63	303.03	90.90	72.72	60.60
750	1363.63	681.81	545.45	454.54	136.36	109.09	90.90
1000	1818.18	909.09	727.27	606.06	181.81	145.45	121.21

TABLA No. III-21

REQUERIMIENTOS DE MATERIAL DE CUBIERTA FINAL

HECTAREAS	CUBIERTA FINAL NECESARIA (0.60 m) (m ³)
1	6,000
5	30,000
10	60,000
20	120,000
50	300,000
100	600,000
200	1,200,000
250	1,500,000

IV MANUAL DE OPERACION

I INTRODUCCION

El método de relleno sanitario se basa en tres operaciones fundamentales como ya ha sido mencionado anteriormente; extendido, compactación y recubrimiento de los desechos. El extendido consiste en que los desechos sólidos acarreados al relleno son acomodados sobre el talud frontal o frente de trabajo, de tal forma que las capas de desechos sueltos no tengan más de 60 cms., de espesor. La compactación indica que las capas de desechos sueltos son compactados mediante el empleo de maquinaria pesada, de manera tal que el espesor de los mismos sea de 15 cms. aproximadamente. Cada capa de desechos compactados debiera consolidarse con la capa precedente, evitándose cavidades o vacíos. Del cuidado que se tenga en la compactación de las capas de desechos, dependerá el grado de asentamiento del relleno. La cobertura indica que al final de cada día de trabajo, las capas de desechos compactados en la celda diaria son recubiertos con una capa de tierra. Este recubrimiento deberá tener el espesor suficiente para cubrir completamente los desechos y rellenar las irregularidades de la superficie. La operación implica igualmente que el material de cobertura compactado debe quedar limpio y con buenas pendientes que prevengan la erosión y aseguren el drenaje controlado de las aguas pluviales. La

Fig. No. IV-1 muestra una secuencia de las operaciones básicas del relleno sanitario. Las figs. No. IV-2 y IV-3 muestran las fases en la elaboración de una celda y la construcción de una celda típica respectivamente.

La cobertura es quizás la más importante fase en la operación del relleno, en la que debe observarse tres detalles fundamentales (ver fig. NO.IV-4), una cobertura de 15 cms. de espesor la cual es aplicada diariamente (o tan a menudo como lo requiera el flujo de desechos al relleno): Una cobertura intermedia de 30 cms. de espesor que es aplicada para preservar la superficie o tope de las celdas inferiores; una cobertura final de 60 cms. de profundidad o dependiendo del uso final del sitio, a la cual debe darsele la pendiente adecuada para el drenaje de las aguas de lluvia. Cuando la operación de cobertura es ejecutada propiamente, no se presentarán problemas de moscas, malos olores, ni papeles volantes; igualmente se conformará una superficie relativamente impermeable, por lo que la penetración de las aguas de lluvia será máxima o ninguna. Por otra parte, la operación es importante en el mantenimiento de la estética del sitio, así como también para facilitar el necesario movimiento de los vehículos. La tabla No. IV-5, nos indica la eficiencia de los tipos de suelos usados como material de cubierta.

2 METODOS OPERATIVOS QUE SE PREVEEN.

Ateniéndonos a los rasgos fisiográficos e hidrológicos distintivos que caracterizan a los sitios, así como a las disponibilidades de material de cobertura, los métodos de operación que se preveen en la ejecución del relleno sanitario son como siguen:

2.1. AREAS DONDE EL TERRENO ES A NIVEL U ONDULADO.

En áreas relativamente a nivel se podrá construir una rampa haciendo una excavación superficial y utilizando la tierra excavada para formar la parte de la rampa que está por encima del nivel de tierra original.

En terreno ondulado la operación podrá iniciarse usando el declive natural. La anchura y la longitud del declive dependerá en parte de la naturaleza del terreno, el volumen de basura entregado diariamente en el sitio y el número de camiones que posiblemente estarán presentes para descargar al mismo tiempo. La anchura mínima del declive será aproximadamente dos veces el ancho del tractor, lo que permitirá que éste se mueva de lado a lado para apisonar la basura. El declive de la rampa no será mayor de 30°.

Los vehículos de recolección depositarán la basura en la base o en la cima de la rampa y el tractor la extenderá en capas de

30 cms, sobre la rampa y la apisonará. Esto se deberá hacer varias veces al día para obtener la consolidación, más bien que tratar de extender y apisonar una gran acumulación a varios metros de profundidad, al mismo tiempo. Al final de las operaciones del día la basura apisonada en la rampa deberá ser cubierta con tierra tomada de la zona inmediata a la base de la rampa. La basura del día siguiente se esparcerá y será apisonada en el declive formado por la capa de tierra que cubre la basura del primer día y cubierta por excavaciones adicionales frente a la base del declive en avance. Siempre será conveniente poner un cordón de tierra antes de colocar la basura a lo largo de una o ambas orillas de la parte del declive que está sobre el nivel original del terreno. Esto disminuirá la dispersión de papeles y cajas por el viento y ayudará a contener la zona de trabajo y a facilitar la cobertura de los declives laterales. La tierra colocada como cubierta sobre la rampa deberá tener por lo menos 15 cms. de profundidad después del apisonamiento y la cubierta del nivel final deberá tener 60 cms. de espesor.

2.2 AREAS DE HONDONADAS:

Cuando estas sean de relativa profundidad se deberán llenar en capas, comenzando cada una en el extremo más elevado de la hondonada a fin de no obstruir el desague natural. La cubierta de tierra para la primera capa, a medida que se vá a todo lo largo de la barranca, se podrá frecuentemente obtener de delante de la base de -

declive de avance. Sin embargo, la cubierta para las siguientes capas o elevaciones usualmente se obtendrá de los lodos de la hondonada.

En algunas circunstancias podrá no resultar conveniente de extender la primera capa de celda a todo lo largo de la hondonada antes de comenzar la construcción de las capas superiores. En este caso, la primera capa de celdas se podrá construir solo a una distancia relativamente corta del extremo superior de la hondonada.

En un corte longitudinal esto daría la apariencia de una serie de peldaños cuando se completen las capas superiores. Este procedimiento permitiría obtener una porción de la cubierta para las capas superiores, de ser necesario, del fondo de la hondonada delante de la cara de la primera capa; trayéndola después en las rampas de las otras capas hasta el nivel de operación. Cuando se han terminado las capas superiores, la capa de fondo se puede extender a una corta distancia y construir capas sucesivas sobre ella en la misma forma.

Una ventaja de este método de operación en las hondonadas es que la superficie de las capas se expondrán menos a la erosión.

Prescindiendo de la manera de llevar las hondonadas, la profundidad de cada capa de celdas se deberá limitar usualmente de 2 a 3m. y se deberá obtener el máximo de consolidación de la basura y la cubierta.

2.3. OPERACION EN TIEMPO DE LLUVIAS.

En los períodos lluviosos, las áreas cercanas al camino de entrada, se deberán reservar para las operaciones, igualmente en los cortos períodos de lluvias durante las épocas del año normalmente secas. Cuando el tiempo es favorable se podrán llevar a cabo operaciones en áreas algo remotas del camino de entrada por medio de los caminos secundarios al frente de trabajo. Se deberá tener siempre un abastecimiento adicional de cascajo o grava para usarlos en caso de urgencia. Los cargamentos de barrido de las calles, de cenizas, etc, entregados para relleno, podrán conservarse en parte también para este fin.

3 REQUERIMIENTOS DE TIERRA, EQUIPO Y PERSONAL PARA LA EJECUCION DE UN RELLENO SANITARIO QUE SATISFAGA LAS NECESIDADES ACTUALES Y FUTURAS DE UN SITIO.

3.1 ESTIMACION DE TIERRA REQUERIDA-AREA Y VOLUMEN

Para poder estimar la capacidad diaria de operación de un relleno sanitario así como su vida útil, es indispensable saber la cantidad de desechos que serán manejados, sus componentes principales y sus características de compactación (volumen suelto vs volumen compactado).

Para basuras y desechos municipales, la relación volumen suelto a volumen compactado varía entre 2 a 1 y 6 a 1 dependiendo de la composición de las basuras, el equipo usado, la profundidad del relleno (ya que la densidad es proporcional a la carga aplicada, dentro de ciertos límites), y el estado de descomposición o estabilización de los desechos.

El material de cobertura (intermedio y final) también debe considerarse en el cálculo de volumen requerido. Como regla general, el relleno de basuras requiere un promedio de una parte (volumen) de tierra o material de cobertura por cada cuatro partes de basura.

Es normal anticipar el natural asentamiento de los límites del relleno, el cual se estima en el orden de 0.31 mts. por cada 2.50 mts. de profundidad de la capa de basura (naturalmente este valor estimado puede variar dependiendo del contenido de materia orgánica presente en la basura).

EJEMPLO:

Un método de calcular la cantidad de tierra requerida (área y volumen), el cual aplicaremos en el presente ejemplo, es mediante la aplicación de las fórmulas siguientes:

$$V = \frac{R}{D} \left(1 - \frac{P}{100} \right) \times C_v$$

Donde:

V = Volumen requerido en metros cúbicos para disponer la -
basura producida per cápita, por año.

R = Cantidad de basura en Kilogramos, per cápita por año
(manejada en el relleno sanitario).

D = Densidad promedio de la basura, expresada en Kilogramos
por metro cúbico.

P = Por ciento de reducción de la basura como resultado de
la compactación.

Cv = Volumen requerido de material de recubrimiento, en me-
tros cúbicos.

Para 1978 y 1998, los volúmenes requeridos serían:

AÑO 1978:

$$\frac{R}{D} = \frac{0.816 \times 365}{150} = 2 \text{ m}^3$$

D = 150 kg/m³ densidad promedio de la basura para este -
ejemplo.

P = 40% de reducción (mínima)

Cv = Aproximadamente una cuarta parte del volumen neto re-
querido para la basura.

LUEGO:

$$V = 2 (1-0.40) \times 1.25 = 1.50 \text{ m}^3$$

AÑO 1998

$$V = \frac{0.996 \times 365}{150} (1-0.40) 1.25 = 182 \text{ m}^3$$

Area requerida:

$$A = \frac{V}{d} N$$

DONDE:

A = Superficie de tierra requerida (en hectáreas).

V = Volumen requerido en metros cúbicos para la disposición de la basura; per cápita por año.

N = Población

d = Profundidad estimada de la basura

Partiendo de la base que en el ejemplo se ejecute un solo relleno sanitario que satisfaga las necesidades de toda la población, por un periodo de 20 años, el área requerida será la sumatoria de las áreas necesarias para cada año del periodo en cuestión.

En el cuadro No. IV-6, se indican los valores parciales (por año) de volúmenes y áreas requeridas. Como podrá observarse, el área total requerida es aproximadamente de 236.94 hectáreas, no obstante, esta cantidad puede aumentar o disminuir, dependiendo del -

método de relleno que se aplique (método de área o de trinchera), y del grado de compactación que se logre en las operaciones. En todo caso, una superficie de 200 hectáreas resultará altamente beneficiosa, ya que además del espacio que se requiere para las obras civiles (oficinas, estacionamiento, taller, etc.) podrá cubrirse cualquier incremento en la rata de producción de desechos.

3.2. EQUIPO REQUERIDO PARA EL RELLENO SANITARIO Y SU MANTENIMIENTO.

El objetivo básico de la selección de equipo, es el escoger la combinación óptima de cantidad, tamaño y tipo de equipo y accesorios necesarios para la ejecución de las funciones requeridas para la preparación, operación y acabado del relleno sanitario.

3.2.1. EQUIPO REQUERIDO

Las máquinas usadas en rellenos sanitarios pueden clasificarse dentro de cuatro categorías funcionales (ver fig.No.IV-7

- a) Máquinas y equipos para el manejo del material de cobertura
- b) Máquinas y equipo empleados para manejar los desechos.

- c) Máquinas y equipos empleados para labores secundarias y de mantenimiento.
- d) Máquinas y equipo que pueden usarse para todas las funciones antes señaladas.

En forma similar, las máquinas pueden ser clasificadas de acuerdo con:

- a) Su movilidad, velocidad y sistema de tracción o locomoción.
- b) Su habilidad y capacidad de manejo (transporte), remoción y excavación, empuje y compactación de diferentes materiales; y
- c) Su flexibilidad o versatilidad para su uso en diferentes labores del relleno.

3.2.2. MANTENIMIENTO

Debido a la gran diversidad de maquinaria que es factible utilizar en un relleno sanitario, queda fuera del alcance de este trabajo los pormenores del mantenimiento preventivo de cada unidad, Sin embargo debo hacer notar que es obligación del distribuidor de la maquinaria, el proporcionar los manuales de mantenimiento preventivo respectivos para cada tipo de unidad adquirida.

3.3. PERSONAL REQUERIDO:

- **Supervisor:** Este empleado debe tener los conocimientos y entrenamiento necesarios para dirigir la obra en progreso. Esta posición requiere la presencia de este empleado durante todo el tiempo que el relleno sanitario se encuentre en operación. De no ser un Ingeniero Civil, podrá considerarse un Ingeniero Topografo.
- **Operadores de Máquina:** Un relleno sanitario requiera el empleo de dos operadores de maquinaria pesada, que sean capaces de manejar y mantener en buen estado de operación el equipo. Además de las condiciones establecidas, el operador debiera poseer el entrenamiento necesario para poder seguir planos que indiquen elevaciones y contornos, seguir especificaciones de acabado y entender el propósito y los problemas relacionados con la operación de un relleno sanitario.
- **Recibidor-Despachador:** Este empleado estaría encargado de la caseta de entrada y de pesar todos los vehículos que entren al sitio. Puede asignársele la función de cobrar las cuotas de disposición una vez que los vehículos han sido pesados y tratados. Esta posición requiere que el empleado esté a la mano todo el tiempo que el relleno permanezca abierto.

- Chofer del camión: Para el manejo del camión tan que el cual se empleará en las operaciones de compactación en el relleno.
- Ayudantes: Es recomendable el emplear personal - ayudante que auxilie al resto del personal en la obra, en tareas menores de limpieza o para dirigir el tráfico interno durante las horas de mayor movimiento de vehículos.

En Resumen, el personal mínimo requerido incluye:

- 1 Supervisor de campo.
 - 2 Operadores de maquinarias pesadas.
 - 1 Chofer de camión.
 - 2 Romaneros - recibidores.
 - 1 Mécánico
 - 1 Ayudante
 - 1 Lavador
 - 3 Vigilantes (uno por turno)
4. ASPECTOS ECONOMICOS DEL RELLENO SANITARIO.

4.1. GENERALES

Aunque el relleno sanitario esta considerado como el método más económico de disposición, los gastos en que se incurren pueden ser substanciales. De allí la importancia de compilar y -

analizar los datos sobre costos como sustentación para una operación eficiente y económica de la obra.

La estimación de costos de un relleno sanitario se basa en la capacidad instalada para manejar la basura que llega al sitio, ya que el equipo de maquinaria pesada no es fraccionable y es necesario tenerlo completo, desde el comienzo mismo de la operación, - al igual que las obras civiles y de más facilidades (básculas, cassetas, accesos, cercas, etc), indispensables para el cabal funcionamiento del relleno. En este sentido el precio unitario por tonelada de basura dispuesta dependerá del tamaño de la operación, el método de relleno que se aplique y el valor en el mercado local de los equipos, materiales y mano de obra que se requieren para la operación.

4.2. CLASIFICACION DE COSTOS

De lo anterior se desprende que una estimación de costos sincera y apropiada de inversión de capital y operación, solo podrá obtenerse una vez diseñado el relleno sanitario. En todo caso, el análisis de costos debe realizarse cuidadosamente, sin omisión de detalles.

Una adecuada clasificación de costos comprende:

4.2.1. COSTOS NO OPERACIONALES QUE INCLUYEN:

4.2.1.1. INVERSION INICIAL DE CAPITAL:

- Terreno .
- Mejoras .
- Edificaciones .
- Equipos .

4.2.1.2. COSTOS NO OPERACIONALES ANUALES:

- Depreciación (equipo y mejoras).
- Pago de intereses y otros gastos de financiamiento.

4.2.2. COSTOS OPERACIONALES QUE INCLUYEN:

4.2.2.1. TRABAJO DIRECTO (CONDUCTORES, OPERADORES DE BASCULAS, VIGILANTES ETC).

- Jornales, horas extras, beneficios marginales.
- Combustibles y lubricantes.

4.2.2.2. OPERACION DE EQUIPOS

- Arrendamiento .
- Combustible y lúbricantes .
- Reparaciones y Mantenimiento preventivo (Mano de obra, piezas y accesorios, cargos de otras fuentes).

4.2.2.3. MATERIAL PARA RECUBRIMIENTO (SI SE OBTIENE DE OTRA PROCEDENCIA).

4.2.2.4. DESEMBOLSOS GENERALES

- Administración.
- Servicios.
- Cargos de otros departamentos.
- Mantenimiento en general de edificaciones y alrededores.

4.2.3. COSTO TOTAL QUE INCLUYE:

4.2.3.1. Costo de instalación (operacional más la depreciación).

4.2.3.2. Costos comunales (operacional más depreciación más financiamiento menos rentas públicas).

4.2.3.3. Costos Unitarios:

De los costos iniciales, el valor de adquisición de terrenos disponibles es generalmente lo más sobresaliente, los costos de terrenos son considerablemente variables de localidad a localidad e inclusive, de un punto a otro dentro de una misma zona metropolitana. Desde luego, reflejados en los costos de terrenos estarán algunos otros gastos adicionales como los de acondicionamiento para la ejecución del relleno.

Es de señalar, por otra parte, que pueden existir algunas desventajas en la adquisición de terrenos por una municipalidad - para la ejecución de rellenos sanitarios, la primera de ellas es que no produciría rentas ya que el terreno estaría exonerado de impuestos. Además de ello, el monto del capital de inversión que maneja la municipalidad o gobierno comunal puede estar sujeto a limitaciones legales, y el dinero a invertir en el terreno para tales fines puede estar por encima de la capacidad de financiamiento de algunas - municipalidades. En tales casos, pudiera ser más ventajoso para el organismo que tiene bajo su responsabilidad la disposición final - de las basuras, alquilar el terreno. Desde luego, en tal situación, la ganancia que pueda reportar la eventual reventa de la propiedad no la devengaría dicho organismo. En general, el balance de beneficios y costos, asociados en cada adquisición o arrendamiento de terrenos dependerá de la localidad de que se trate.

En adición al precio del terreno habrán ciertos costos - asociados con el desarrollo del sitio para usarlos como relleno. Tales sumas podrían incluir los costos de estudio preliminar sobre los desechos sólidos generados por la comunidad, sumas para la investigación del sitio con respecto a topografía, hidrogeología y - condiciones climáticas pagos a consultores de ingeniería y diseñis tas e igualmente para la elaboración del proyecto compleo del relleno y especificaciones de la operación del mismo.

Otra categoría mayor de costos en la ejecución de un relle no sanitario será aquella asociada con el desarrollo físico del - sitio, lo cual comprende gastos por concepto de desforestación y limpieza, mejoramiento del terreno, instalación de drenajes, con trucción de vías de acceso, instalación de servicios como: Electri cidad, agua, teléfono, defensas y adecuados avisos o señales para la operación. Adicionalmente, serán necesarias otras obras civiles como: locales para oficinas, almacenamiento, mantenimiento y estacio namiento de vehículos, máquinarias y demás equipos y materiales. Es tas estructuras son todas parte de la inversión inicial para la eje cución de un relleno sanitario. Finalmente, el equipo a ser usado - en el relleno significará un amplio rango de costos que pueden re-

ferirse a gastos de adquisición o arrendamiento, tal como se plantea para el caso del terreno.

4.4. COSTOS DE OPERACION

Los costos de operación de un relleno sanitario comprende, como se indicara anteriormente, los correspondientes a mano de obra, operación y acarreo de material de cobertura (si es de otra procedencia), servicios administrativos y otros varios gastos debidos a facilidades de mantenimiento o pagos de servicios, etc.

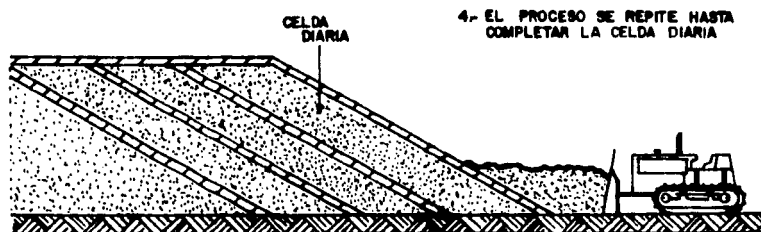
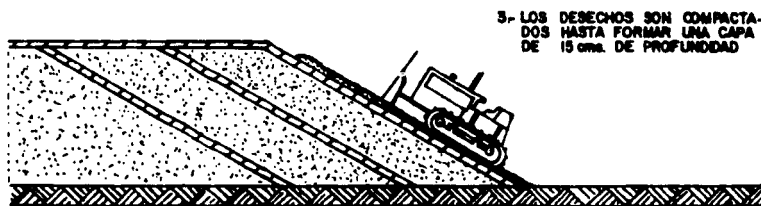
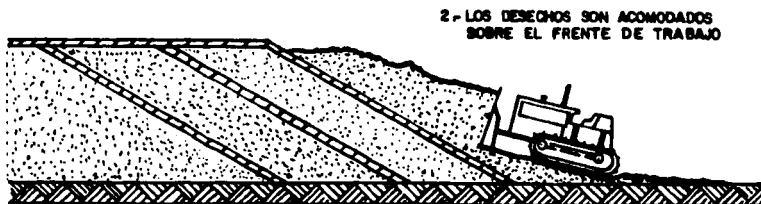
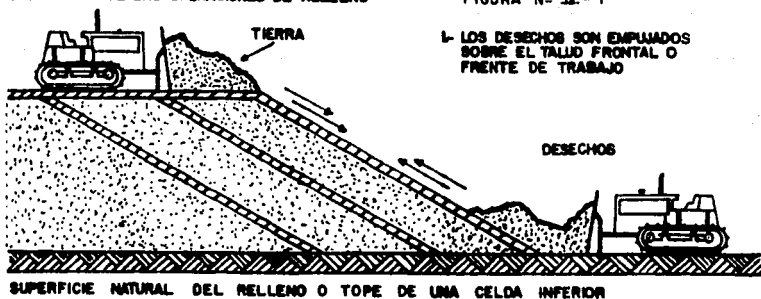
Los costos generales de labor alcanzarán aproximadamente la mitad del total de gastos de operación de un relleno sanitario.

Un tercer costo adicional se refiere a los gastos de equipamiento de maquinaria (combustibles y lubricantes), así como también mantenimiento preventivo y reparación de la misma.

En síntesis, los gastos de operación de un relleno sanitario dependerán del tamaño de la operación y también, en cierta proporción, de la categoría de los costos de inversión inicial de capital. Por lo general, los gastos operacionales serán relativamente menores en operaciones de gran tamaño.

SECUENCIAS DE LAS OPERACIONES DE RELLENO

FIGURA N° IX-1





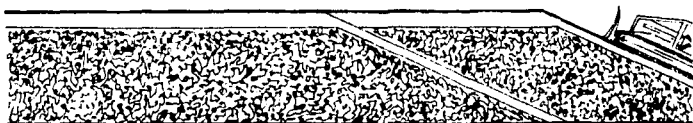
FASE 1- DESCARGAR LOS DESECHOS SÓLIDOS EN EL FRENTE DEL TRABAJO.



FASE 2- ESPARCIR EN CAPAS DE APROXIMADAMENTE 60 Cms.



FASE 3- COMPACTAR PASANDO EL EQUIPO DE 2 A 4 VECES



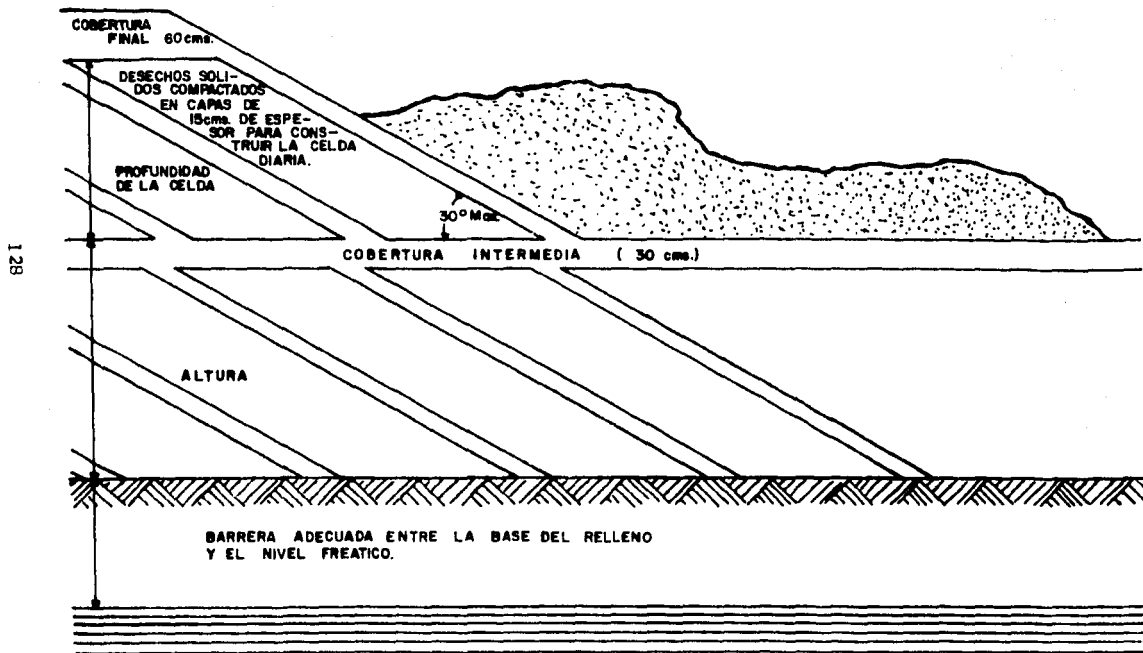
FASE 4- CUBRIR Y COMPACTAR EL MATERIAL DE CUBIERTA, PARA FORMAR LA CELDA.

FIGURA N° IV-2

FASES EN LA ELABORACION DE UNA CELDA

FIGURA Nº IV - 3

CONSTRUCCION DE UNA CELDA TÍPICA



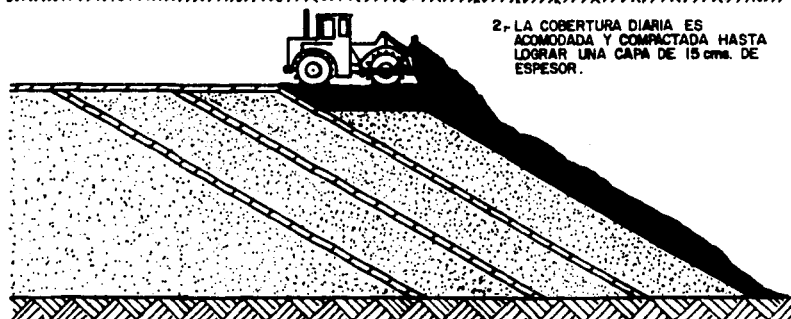
RECUBRIMIENTO DE LOS DESECHOS SOLIDOS

FIGURA Nº IV - 4

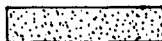
1.- LA COBERTURA DIARIA ES ACARREADA AL AREA DE TRABAJO MEDIANTE EL EMPLEO DE EQUIPO ADECUADO.



2.- LA COBERTURA DIARIA ES ACOMODADA Y COMPACTADA HASTA LOGRAR UNA CAPA DE 15 cms. DE ESPESOR.



3.- LA COBERTURA FINAL ES ACARREADA HASTA EL AREA DE TRABAJO, ACOMODADA Y COMPACTADA HASTA FORMAR UNA CAPA DE 60 cms. DE PROFUNDIDAD.



BASURA



COBERTURA PRIMARIA



TERRENO NATURAL

EFICIENCIA DE LOS TIPOS DE SUELO USADOS COMO MATERIAL DE CUBIERTA PARA RELLENO SANITARIO
 TABLA No. IV-5

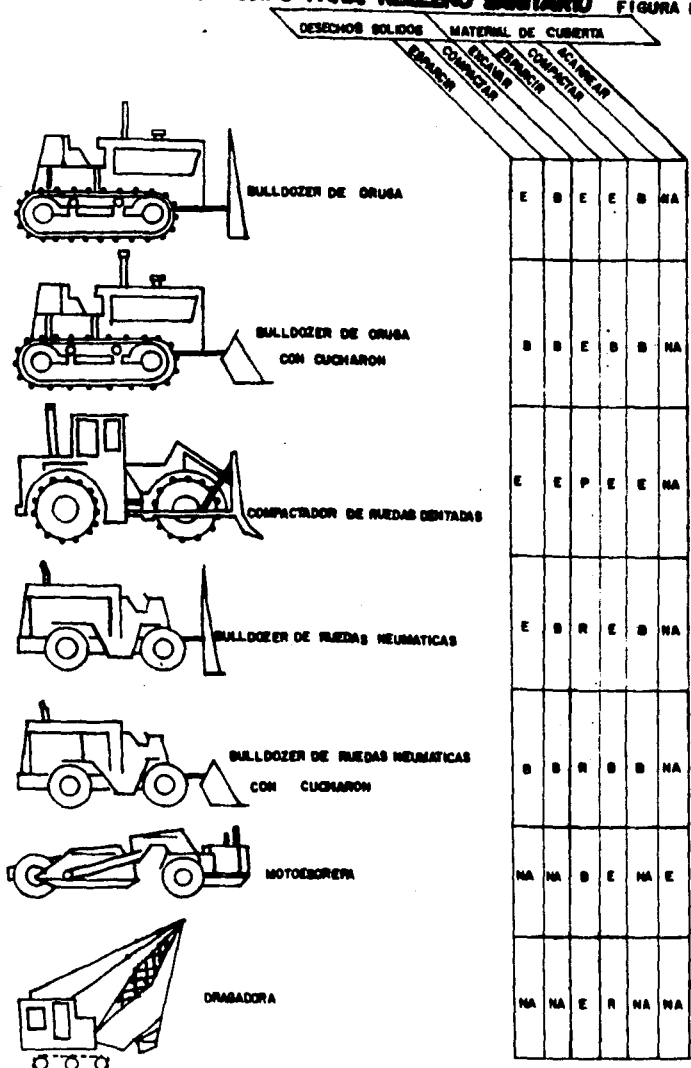
TIPOS DE SUELO FUNCION	GRAVA	GRAVA ARCILLA Y LIMO	ARENA	ARENA ARCILLA Y LIMO	LIMO	ARCILLA
Previene albergar o excavar a los roedores	B	R-B	B	P	P	P
Evita la salida de - moscas a la superficie.	P	R	P	B	B	E
Reduce la entrada de humedad a las Celdas del relleno	P	R-B	P	B-E	B-E	E
Reduce el movimiento de Gas através de la superficie del relleno	P	R-B	P	B-E	B-E	E
Proporciona aspecto - estético y controla los materiales suscep- tibles de ser arrastra- dos por el viento	E	E	E	E	E	E
Favorece el crecimiento de la vegetación	P	B	P-R	E	B-E	R-B
Permeabilidad para ven- tilar gases de descompo- sición	E	P	B	P	P	P

E Excelente.
 B Bueno.
 R Regular.
 P Pobre.

DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS
CANTIDAD DE TIERRA REQUERIDA
CUADRO No. IV-6

Año	R Cantidad de basura per capita X año Kgs	D Densidad promedio de la basura Kgs/m ³	P Por ciento de reducción de la basura debido a la compactación	$Cv = \frac{R(1-P)}{D} \times 0,25$ Volumen requerido de material de cobertura per capita por año m ³	$V = \frac{R(1-P)}{D} \times Cv$ Volumen requerido para disponer la basura, per capita por año. m	N Población	d Profundidad estimada de la basura captada m	$A = \frac{V \times N}{d}$ Area requerida HAS
1978	299,30	150,00	40%	0,299	1,495	143,495	3,00	6,95
1979	300,87	"	"	0,301	1,505	148,289	"	7,43
1980	303,86	"	"	0,304	1,520	153,243	"	7,76
1981	306,89	"	"	0,307	1,535	158,360	"	8,10
1982	309,96	"	"	0,310	1,550	163,648	"	8,45
1983	313,06	"	"	0,313	1,565	169,109	"	8,82
1984	316,20	"	"	0,316	1,580	174,751	"	9,20
1985	319,37	"	"	0,319	1,595	180,580	"	9,60
1986	322,59	"	"	0,323	1,615	186,601	"	10,04
1987	325,80	"	"	0,326	1,630	192,822	"	10,47
1988	329,05	"	"	0,329	1,645	199,249	"	10,92
1989	332,33	"	"	0,332	1,660	205,886	"	11,39
1990	336,65	"	"	0,336	1,680	212,744	"	11,91
1991	339,01	"	"	0,339	1,695	219,877	"	12,42
1992	342,41	"	"	0,342	1,710	227,145	"	12,94
1993	345,84	"	"	0,346	1,730	234,705	"	13,53
1994	349,30	"	"	0,349	1,745	242,514	"	14,10
1995	352,81	"	"	0,353	1,765	250,581	"	14,74
1996	356,35	"	"	0,356	1,780	258,916	"	15,36
1997	359,93	"	"	0,360	1,800	267,523	"	16,05
1998	363,54	"	"	0,364	1,820	276,417	"	16,76
T O T A L								236,94

CARACTERÍSTICAS DE EQUIPO PARA RELLENO SANITARIO FIGURA Nº IV-7



E: excelente B: bueno R: regular P: pobre NA: no aplicable

1. . CONCLUSIONES

Se puede concluir que ha pesar de su antigüedad, el relleno sanitario presenta hasta la actualidad la alternativa más económica que cumple con los requisitos mínimos sanitarios que se exigen para preservar el medio ambiente y proteger a la salud pública.

Por lo tanto, definitivamente el relleno sanitario presenta las mejores opciones para los países en vías de desarrollo, Como el método de disposición final de los desechos sólidos municipales a utilizar.

2. RECOMENDACIONES

- 2.1. Diseño.- El diseño final de relleno sanitario debe describir con detalle:
 - 2.1.1 Las instalaciones para el personal y la -
operación.
 - 2.1.2 Procedimiento de operación y su secuencia,
equipo y requerimiento de personal.

- 2.1.3 La potencial contaminación y los métodos para su control .
- 2.1.4 Pendientes finales y uso planeado del sitio al término de las operaciones.
- 2.1.5 Costos estimados de adquisición, desarrollo y operación del sitio propuesto.

El diseñador deberá proveer un mapa que muestre la localización del lugar y su área, un mapa topográfico que cubra - 300 mts, fuera del área a utilizar, mapas adicionales y secciones representativas de corte transversal que incluyan las etapas planeadas de relleno (bases, elevaciones intermedias y su terminación). También deberán presentar los siguientes puntos detalladamente:

- 2.1.6 Caminos de acceso .
- 2.1.7 Construcciones .
- 2.1.8 Servicios superficiales y subterráneos y aéreos.
- 2.1.9 Básculas.
- 2.1.10 Equipos de protección contra incendios.

- 2.1.11 Drenajes de la superficie (natural y de construcción) y de agua subterránea.
- 2.1.12 Perfiles de la tierra y del lecho rocoso.
- 2.1.13 Recolección de lixiviado e instalaciones para su tratamiento.
- 2.1.14 Métodos de control de gases.
- 2.1.15 Construcciones dentro de 300 mts. (residenciales, comerciales y agrícolas).
- 2.1.16 Arroyos, lagos, manantiales y pozos dentro de los 300 mts.
- 2.1.17 Areas incorporadas y volumen de material disponible.
- 2.1.18 Dirección de los vientos dominantes.
- 2.1.19 Areas para relleno incluyendo áreas especiales y limitaciones de tipos de desperdicio para disponer.
- 2.1.20 Secuencia de relleno.
- 2.1.21 Entrada controlada.
- 2.1.22 Bardeado perimetral.
- 2.1.23 Uso final.

2.2 OPERACION

- 2.2.1. El relleno sanitario debe ser bien planeado y su operación y mantenimiento deberán ser realizados por personas adiestradas, de manera tal que se garantice el cumplimiento de los procedimientos ingenieriles y los requisitos de salud pública.
- 2.2.2. El organismo responsable de la operación, deberá determinar las fuentes locales de equipo para uso a corto plazo en caso de avería ó exceso de carga.
- 2.2.3. El frente de trabajo del relleno debe mantenerse tan estrecho como resulte consistente con la buena operación de los camiones y equipo, de manera que el área de material de desechos expuesta durante el día de trabajo sea mínima. La basura debe recibir la mayor consolidación posible. Esto facilitará la aplicación de una capa sólida, pareja, de tierra que aminorará el asentamiento.

2.2.4. La basura expuesta debe ser cubierta con tierra tan pronto como resulte conveniente durante la operación, pero siempre antes de finalizar el día, de modo que el depósito de cada día haga una celda cerrada. La cubierta de tierra debe de estar debidamente apisonada a fin de evitar que las moscas después de salir del pupario puedan salir de la basura compactada a la superficie.

2.2.5. La cobertura final para la superficie y lodos inclinados se debe mantener a una profundidad de 60 cms.

2.2.6. El nivel final del relleno debe proporcionar un declive de 0.5 a 1% para permitir el drenaje necesario. Se deben evitar declives mayores porque ocasionan erosión. En caso que el relleno terminado tenga un borde o declive lateral, éste debe ser tan gradual como sea posible para evitar la erosión. Estos declives deben ser sembrados rápidamente y cubiertos con paja.

para disminuir la erosión hasta que -
crezca la vegetación.

2.2.7. Si se dispone de agua a presión, el material residual expuesto y las superficies adyacentes se deben regar cuando sea necesario para disminuir el polvo. Esta humedad adicional facilitará también la compactación y posiblemente aumentará el grado de descomposición.

2.2.8. Por regla general, la capa de basura no debe exceder la profundidad promedio de 2 a 3 m. después de la compactación. Cuando sean necesarias varias "elevaciones" sucesivas, se debe dar especial atención a lograr una buena compactación, de manera que las capas subsiguientes se puedan construir casi inmediatamente con un mínimo de asentamiento.

2.2.9. Debe mantenerse el debido control de los papeles volados por el viento. Esto puede hacerse mediante el uso de cercas móviles y también por la cuidadosa colocación del relleno en el área de trabajo.

2.2.10. La inspección y el control de insectos y roedores se debe llevar a cabo hasta que los rellenos estén estabilizados. Todas las recolecciones de agua superficial resultante de las operaciones de relleno, se deben desaguar, rellenar o tratar con sustancias químicas efectivas, a fin de impedir la producción de mosquitos y olores desagradables. El tratamiento con - sustancias debe ser temporal y se debe tratar por todos los medios posibles de volver a nivelar el terreno o tomar otras medidas de corrección permanente lo antes posible.

2.2.11. Después de completar las operaciones, se debe continuar un programa de mantenimiento hasta que el relleno esté estabilizado. Este programa debe incluir la rápida reparación de grietas, depresiones y erosión de la superficie y declives laterales. Es deseable la siembra de grama u otra vegetación similar en las superficies terminadas lo antes posible, pues una buena siembra -

disminuye la erosión, mejora la aparencia y disminuye el agrietamiento de la superficie.

2.2.12 Se debe proveer una área separada o zanja, para eliminar objetos voluminosos, tales como troncos de árboles, ramas grandes, - etc.

2.2.13 Una zanja separada o fosa puede resultar conveniente para la eliminación de pequeños animales muertos, alimentos podridos, entrañas y cantidades de otras materias putrescibles que se deben cubrir inmediatamente.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- SANITARY LANDFILL DESIGN AND OPERATION
DIRK R. BRUNNER AND DANIEL J. KELLER
U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1972.
- 2.- SANITARY LANDFILL DESIGN HANDBOOK
GEORGE NOBLE
TECHNOMIC PUBLISHING CO, INC. 1976.
- 3.- MOVIMIENTO DE TIERRAS
HERBERT L. NICHOLS, JR.
C.E.C.S.A. 1970.
- 4.- HIDROGEOLOGY
STANLEY N. DAVIS, DE WREST ROGER J.M. 1966.
- 5.- GEOHIDROLOGIA TEORICA Y PRACTICA
DIRECCION DE PEQUEÑA IRRIGACION
S.A.R.H. 1970.
- 6.- HANDBOOK. OF SOLID WASTE
DAVID GORDON WILSON, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF
TECHNOLOGY EDITORIAL VAN NOSTRAND REINHOLD, 1977
- 7.- ESTUDIO INTEGRAL SOBRE RECOLECCION Y DISPOSICION FINAL
DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DEL ESTADO DE NUEVA ESPARTA.
ING. JORGE BLANCO FAOUR Y COLABORADORES
MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES
RENOVABLES CARACAS, VENEZUELA 1979
- 8.- 1er. SIMPOSIO REGIONAL SOBRE DESECHOS SOLIDOS
ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD
SANTO DOMINGO, R. DOMINICANA 1978.
- 9.- DECISION MAKERS GUIDE IN SOLID WASTE MANAGEMENT.
U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 1976.